

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**Т. А. ЕВСЕЕВА, Н. В. ЛАСТОВЕЦ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
по курсу

**«КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА»**

(для студентов 4 и 5 курса всех форм обучения и  
слушателей второго высшего образования  
по направлению подготовки 0921 (6.060101) «Строительство»  
специальности 7.092108 (7.06010107) «Теплогазоснабжение и вентиляция»)

**Харьков  
ХНАГХ  
2011**

**Евсеева Т.А.** Конспект лекций по дисциплине «Кондиционирование воздуха» (для студентов 4 и 5 курса всех форм обучения и слушателей второго высшего образования по направлению подготовки 0921 (6.060101) «Строительство» специальности 7.092108 (7.06010107) «Теплогазоснабжение и вентиляция») Экспериментальная версия для технологии обучения) / Т.А.Евсеева, Н.В.Ластовец; Харьк. нац. акад.город. хоз-ва; – Х.: ХНАГХ, 2011 - 111 с.

Авторы:

Т.А.Евсеева, Н.В.Ластовец

Рецензент:

к.т.н., доц. А.В.Ромашко

Рекомендовано кафедрой эксплуатации газовых и тепловых систем,  
протокол № 9 от 27.10. 2010 г.

© Евсеева Т.А., Ластовец Н.В., ХНАГХ, 2011

## Содержание

Общие указания.....	5
Лекция 1 История развития кондиционирования воздуха.....	6
1.1 История развития техники кондиционирования воздуха.....	6
1.2 Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха.....	7
1.3 Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха.....	8
1.4 Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха.....	8
Лекция 2 Требования к системам кондиционирования воздуха.....	11
Лекция 3 Классификация систем кондиционирования воздуха.....	16
3.1. Возможности современных кондиционеров.....	20
Лекция 4 Основные параметры влажного воздуха .....	21
Лекция 5 Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме .....	28
5.1 Угловой коэффициент луча процесса.....	28
5.2 Процессы нагрева и охлаждения воздуха и их отображение на I-d диаграмме.....	29
5.3 Процесс адиабатического охлаждения воздуха и его отображение на I-d диаграмме.....	31
5.4 Процесс увлажнения воздуха паром и его отображение на I-d диаграмме.....	32
5.5 Осушение воздуха. Обработка воздуха сорбентами.....	33
5.6 Смешивание влажного воздуха.....	34
Лекция 6 Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха.....	36
6.1 Расчетные параметры наружного воздуха.....	36
6.2 Расчетные параметры внутреннего воздуха.....	38
Лекция 7 Принцип работы кондиционера. Сплит-системы.....	42
7.1 Принцип работы кондиционера.....	42
7.2 Сплит-системы.....	46
7.3 Конструкция типовой сплит-системы настенного типа.....	47
Лекция 8 Применение рециркуляции воздуха в СКВ.....	50
8.1 Схемы рециркуляции.....	52
Лекция 9 Центральные системы кондиционирования воздуха.....	56
9.1 Кондиционеры для центральных СКВ.....	60
9.2 Крышные кондиционеры (roof-top) и особенности их применения....	62
9.3 Центральные СКВ на базе чиллера и фанкойлов.....	65
Лекция 10 Многозональные СКВ. VRF-системы.....	67
10.1 VRF системы.....	68
10.2. Подбор оборудования СКВ.....	69
10.3 Настенные внутренние блоки.....	70
10.4 Кассетные внутренние блоки.....	71

10.5 Канальные внутренние блоки.....	72
Лекция 11 Определение основных вредных выделений в помещениях.....	74
11.1 Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека.....	74
11.2 Расчет поступления вредностей от людей.....	76
11.3 Расчет тепlopоступлений в помещения жилых и общественных зда- ний.....	78
11.4 Расчет тепlopоступлений от людей.....	78
11.5 Тепlopоступления от источников искусственного освещения.....	80
11.6 Тепlopоступления от солнечной радиации через окна.....	81
11.7 Тепlopоступления от солнечной радиации через покрытие.....	82
Лекция 12 Тепловой баланс помещения. Определение мощности кондицио- нера .....	84
12.1 Тепловой баланс помещения.....	84
12.2 Теплопритоки от солнечной радиации.....	86
12.3 Теплопритоки от оборудования.....	86
12.4 Теплопритоки от людей, находящихся в помещении.....	87
12.5 Расчет влаговыделений в помещении.....	87
Лекция 13 Очистка воздуха в СКВ. Фильтры СКВ.....	88
Лекция 14 Холодоснабжение СКВ. Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ.....	94
14.1 Хладагенты СКВ.....	97
14.2 Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ.....	99
Лекция 15 Установка и эксплуатация оборудования СКВ.....	100
15.1 Порядок установки и монтажа СКВ.....	100
15.2. Схема установки системы кондиционирования воздуха.....	103
15.3 Основные потребительские функции кондиционера.....	104
15.4 Эксплуатация СКВ и защита кондиционеров.....	107
Список источников.....	111

## **Общие указания**

Кондиционирование воздуха - это автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

Здоровье, работоспособность, да и просто самочувствие человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в помещениях. Современные автоматизированные системы кондиционирования воздуха поддерживают заданные параметры воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды. Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых системой кондиционирования воздуха (СКВ).

Системы кондиционирования снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и содержания заряженных ионов в воздухе; а также - средствами дистанционного управления и контроля. Системы кондиционирования больших общественных зданий обслуживаются комплексными автоматизированными системами управления.

С учетом возрастающих цен на энергоносители, кондиционирование воздуха летом и отопление помещений зимой требует внедрения новых инновационных технологий. Применение в кондиционировании тепловых насосов обеспечивает оптимальный комфорт круглый год и легкость переключения с режима отопления на режим кондиционирования воздуха.

Современные условия жизни человека требуют эффективных искусственных средств оздоровления воздушной среды. Одним из решений данной проблемы может быть применение кондиционирования.

## **История развития кондиционирования воздуха**

### **1.1 История развития техники кондиционирования воздуха**

История развития кондиционирования воздуха неразрывно связана с историей развития всего человечества: формированием и ростом производства. Развитие систем кондиционирования воздуха в гражданских и жилых зданиях неразрывно связано с историей архитектуры. В Англии, Франции, Германии и США прообразы систем кондиционирования воздуха появились еще в конце XIX в., а первые системы кондиционирования воздуха — в начале XX в. Развитию этой отрасли способствовали требования к микроклимату для технологических процессов растущего производства (полиграфическое, текстильное) в условиях промышленной конкуренции.

Основы для развития техники кондиционирования воздуха были заложены в XIX в.: изобретение холодильных машин, вентиляторов, электродвигателей. Но именно XX век по праву считается веком кондиционирования воздуха, так как к этому периоду относятся основные технические изобретения.

Развитие техники кондиционирования воздуха проходило параллельно в нескольких направлениях:

- создание и совершенствование агрегатов для искусственного получения холода;
- создание и совершенствование оборудования для обработки воздуха (теплообменники для охлаждения, осушения, увлажнения) и перемещения воздуха и жидкостей (вентиляторы и насосы);
- разработка теоретических основ: термодинамика жидкостей и газов, теории тепло- и массообмена, автоматического регулирования; создание и совершенствование методов описания физических процессов и расчета отдельных элементов системы кондиционирования воздуха;
- совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха для зданий различного назначения.

Естественное охлаждение льдом и испарительное охлаждение является одним из самых древних способов создания комфортных условий в жарких странах. Во времена древнейших цивилизаций (Египет, Индия, Персия, Китай, а затем и Греция, Рим) строили специальные льдохранилища, которые изолировали опилками. Испарительное охлаждение также активно использовалось древними цивилизациями (первыми были Индия, Египет) в целях охлаждения как напрямую, так и в конструкциях зданий и сооружений.

## **1.2 Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха**

Начиная с 1930 года, в связи с индустриализацией, установками кондиционирования воздуха оборудуются предприятия точного машиностроения, пищевой, полиграфической, радиоэлектронной и тяжелой промышленности. До 1955 года отсутствовало серийно выпускаемое оборудование, установки кондиционирования воздуха разрабатывались по индивидуальным проектам и, как следствие, имели высокую стоимость.

В 1956-1957 гг. была разработана серия типовых центральных кондиционеров, а Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер» начал серийный выпуск центральных кондиционеров из типовых секций производительностью 10, 20, 40 и 60 тыс. м<sup>3</sup>/час, а также нескольких типоразмеров местных агрегатов производительностью от 0,5 до 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/час воздуха. Было положено начало отечественной промышленности по выпуску кондиционеров. Применение типового оборудования способствовало снижению капитальных, эксплуатационных затрат и сокращению сроков монтажа кондиционеров. Строительство в 60-е годы XX века заводов искусственного волокна, химических заводов, полупроводниковой радиоэлектроники, военной и космической техники, а также новых типов общественных зданий потребовало развития массового производства центральных кондиционеров. С 1965 года началось проведение единой политики в области разработки и промышленного производства кондиционеров. В подчинении министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР было создано производственное объединение «Кондиционер» и Всесоюзный научно-исследовательский институт «Кондиционер». В

объединение вошли два завода. Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер», производил центральные кондиционеры КТЦ производительностью по воздуху 31,5-250 тыс. м<sup>3</sup>/час и Кд производительностью по воздуху 10 и 20 тыс. м<sup>3</sup>/час. Домодедовский машиностроительный завод, освоил серийное производство местных агрегатных неавтономных и автономных шкафных и крановых кондиционеров производительностью от 0,5 до 20 тыс. м<sup>3</sup>/час. После распада СССР, преемником Харьковского завода стала фирма ООО «Веза», созданная в 1995 году и освоившая производство каркасно-панельных центральных и автономных шкафных кондиционеров.

### **1.3 Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха**

Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха, создание прикладной науки кондиционирования воздуха появилось как объективная необходимость развития техники для разработки новых конструкций агрегатов, повышения их эффективности с учетом требований защиты окружающей среды и экономии энергии.

Впервые термин «кондиционирование воздуха» был употреблен в 1815 году, когда француз Жанн Шабаннес получил британский патент на метод «кондиционирования воздуха и регулирования температуры в жилищах и других зданиях». Одним из создателей основ кондиционирования воздуха можно назвать М. Ломоносова, с именем которого связана разработка теории теплоты и теории движения воздуха в каналах и трубах, а также Рихмана, заложившего основы теории психрометрии, определяющей для кондиционирования воздуха. В 1918 году русский профессор Л. К. Рамзин разработал  $i - d$  диаграмму влажного воздуха (энтальпия - влагосодержание). В странах Европы обычно применяют  $I - x$  диаграмму влажного воздуха (энтальпия — влагосодержание) французского Молье, которая была им опубликована в 1921 году.

### **1.4 Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха**

Начиная с 1917 года в нескольких городах США появились первые театры и кинозалы, оборудованные системой кондиционирования воздуха, что при-



вело к резкому росту их посещаемости в жаркие летние месяцы. В 1920-е гг. центральные системы комфортного кондиционирования воздуха обычно устанавливались в театрах, гостиницах, торговых центрах, но мало были распространены в офисных и жилых зданиях. В первых небоскребах США были использованы системы естественной вентиляции. В реконструируемых зданиях в существующие системы приточной вентиляции встраивали воздухоохладители. В связи с разработкой и выпуском местных автономных кондиционеров в начале 20-х годов в офисных и гражданских зданиях преобладали местные системы кондиционирования воздуха. В 1930 году большинство основных государственных учреждений США имели системы кондиционирования воздуха, в том числе Белый дом. В 30-е годы в США, а затем и в других странах, началось широкое применение комнатных, бытовых и шкафных автономных кондиционеров для жилых зданий.

Практически до середины 40-х годов системы кондиционирования гражданских зданий, в том числе офисных, это — центральные воздушные системы с местными рециркуляционными вентиляторами или температурными доводчиками. Система с температурными доводчиками применяется для помещений с высокими нагрузками по скрытой теплоте, для реконструируемых зданий с существующими системами водяного отопления, для новых зданий, в которых на первом этапе предполагается осуществлять только отопление и вентиляцию, а охлаждение в более поздние сроки — посредством добавления воздухоохладителя в центральную установку. Наибольшее распространение получила, например, для музеев и картинных галерей.

Позже стали применять двухканальные системы кондиционирования воздуха. Это системы, в которых наружный воздух смешивается с рециркуляционным, смесь охлаждается и осушается летом, увлажняется зимой, делится на два канала и в каждом потоке устанавливаются соответственно воздухонагреватель и воздухоохладитель. Возможна обработка воздуха в двух параллельных установках. Нагретый и охлажденный воздух по двум каналам поступает в помещения, где смешивается в необходимом соотношении, чтобы обеспечить задан-

ную температуру воздуха в помещении. В США и Европе двухканальные СКВ использовались значительно реже, чем водовоздушные. Незадолго до окончания Второй мировой войны появились новые идеи и их воплощение в архитектуре, связанные с применением новых строительных материалов — бетона и алюминия. Возросли нагрузки на систему кондиционирования воздуха за счет солнечной радиации, требовались новые схемные решения. Для снижения теплоступлений от солнечной радиации через окна использовали специальные окна, внутренние жалюзи, реже — наружные солнцезащитные устройства. Первая водовоздушная система с режимами охлаждения и отопления, включая использование теплового насоса, была запроектирована Д. Крокером в 1944 году.

Затраты на систему кондиционирования воздуха выросли на 10-25% по сравнению с обычными системами отопления и вентиляции. В качестве местных агрегатов использовались эжекционные доводчики, в том числе в зданиях послевоенной постройки, например в здании ООН в Нью-Йорке.

В водовоздушных системах, в отечественной практике называемых местно-центральными, в кондиционируемое помещение вводится воздух, обработанный в центральном кондиционере, и вода, несущая тепло или холод. Водовоздушные системы применяются для помещений со значительными явными тепловыделениями, где не требуется жесткое поддержание заданного значения относительной влажности воздуха. Они хорошо себя зарекомендовали за рубежом в офисных зданиях, больницах, гостиницах, школах, жилых зданиях, исследовательских лабораториях, могут применяться в многозональных производственных помещениях точного машиностроения, радиотехнической, фармацевтической, пищевой промышленности. В водовоздушных системах в качестве местных агрегатов, устанавливаемых в помещении, применяют эжекционные доводчики, вентиляторные доводчики, напольные конвекторы и охлаждающие панели.

В связи с загрязнением атмосферы, необходимостью защиты от уличного шума в настоящее время значительно расширилась сфера применения ком-

фортных систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зданиях различного назначения.

В настоящее время кондиционирование воздуха стало необходимым элементом инженерного оборудования жилых зданий. Специалисты все больше приходят к необходимости устройства механической регулируемой приточно-вытяжной вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха в жилых зданиях. Опыт использования таких установок имеется в некоторых странах Европы, например, Германии, Швеции, Австрии.

В связи с остро стоящей энергетической проблемой в последние годы в Европе разрабатывают децентрализованные системы кондиционирования воздуха с регенерацией теплоты удаляемого воздуха и смешанные системы с использованием естественной вентиляции — «ночное проветривание», а также потенциала наружного воздуха для получения холодной воды — косвенное и комбинированное испарительное охлаждение.

## Лекция 2

### **Требования к системам кондиционирования воздуха**

Воздух как фактор жизнедеятельности человека следует рассматривать с двух позиций: как среда, вдыхаемая человеком, и как среда, окружающая человека, с которой поверхность человеческого организма постоянно находится в контакте. Роль воздуха состоит в снабжении человека кислородом, удалении влаги из организма при выдыхании, обеспечении процесса теплообмена человека с окружающей средой.

С помощью кондиционирования можно полностью устранить или свести к минимуму действие таких вредных факторов, как избыточная теплота (конвенционная, вызывающая повышение температуры воздуха, и лучистая); избыточные водяные пары – влага; газы и пары химических веществ токсичного или раздражающего действия; токсичная и нетоксичная пыль; радиоактивные вещества.

Рассмотрим кратко источники образования факторов вредности:

Избыточная теплота. Взрослый человек в спокойном состоянии и при нормальных микроклиматических условиях выделяет в окружающую среду 85 – 120 Вт, из которых в среднем 20% - конвекцией; 55% - излучением и 25% - испарением влаги. Количество выделяемой человеком теплоты изменяется в зависимости от физических нагрузок и температуры воздуха в помещении. В помещениях, где бывает много людей, тепловыделения создают неблагоприятные условия, вредно отражаются на самочувствии, здоровье и работоспособности людей.

Влаговыведения. Количество выделяемого организмом человека водяного пара при умеренной температуре воздуха и небольшой физической нагрузке составляет 40 – 75 г/ч. При высокой температуре среды выделение влаги может возрасти до 150 г/ч. Избыточное содержание водяных паров в воздухе может возникнуть в помещении здания общественного назначения, а также в цехах и отделах промышленных предприятий.

Газовыведение. Содержание газов и пыли не должно превышать предельно допустимых концентраций согласно нормативных документов.

Современные требования, предъявляемые к системам кондиционирования воздуха зданий и сооружений:

#### 1 Санитарно-гигиенические и акустические требования

Оптимальными микроклиматическими условиями являются такие сочетания параметров воздуха рабочей зоны, которые обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма при их длительном и систематическом воздействии на человека.

В соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями в обслуживаемых помещениях системы кондиционирования воздуха должны обеспечивать:

- заданные внутренние условия температуры;
- относительную влажность;
- газовый состав;

- чистоту и подвижность воздуха.

Наиболее благоприятная температура в общественных и административно-бытовых помещениях должна быть 20-22°C, допустимые колебания в теплый период – от 20 до 28°C, в холодный и переходной периоды – от 18 до 22°C.

Относительная влажность считается оптимальной в диапазоне от 30 до 60% в теплый период и 30-45 % в холодный и переходной периоды. Верхняя допустимая граница относительной влажности – 65%.

Чтобы разрушить создаваемую телом человека оболочку газовых выделений, необходимо организовать движение воздушной среды. Однако чрезмерно увеличивать скорость движения воздушной среды недопустимо из-за возникающего чувства дискомфорта и возможности простудных заболеваний. При температуре воздуха 20-25°C допустимой скоростью движения воздуха является 0,2-0,3 м/с – для легкой работы.

Воздушные потоки направляются из помещений с более высокими требованиями к параметрам воздушной среды в сторону помещений с менее высокими требованиями.

Уровень шума от работающего оборудования не должна превышать допустимые значения. Уровень шума современных кондиционеров для жилых и общественных зданий не превышает 25 дБ(А). Это значение находится за порогом слышимости для большинства людей.

## 2 Технологические требования к системам кондиционирования воздуха.

Состояние воздушной среды технологических помещений является необходимым, а часто и решающим условием для стабильной и долговременной работы многих электронных устройств. Одним из требований бесперебойной работы оборудования является поддержание оптимальных параметров температуры, чистоты и влажности воздуха. Эти параметры обеспечиваются системами кондиционирования, к которым предъявляются следующие требования: надежность, точность поддержания температуры, поддержание заданной влажности и запыленность воздуха.

Самое главное требование к системе кондиционирования помещений — надежность. Один из самых опасных врагов оборудования — пыль. Она быстро аккумулируется на заряженных частях оборудования и оседает внутри оборудования. Это ведет к уменьшению срока службы оборудования и преждевременному выходу его из строя.

3 Конструктивно-компоновочные и эксплуатационные требования к системам кондиционирования воздуха

В эту группу показателей включаются удобство монтажа системы, габариты оборудования, занимаемые строительные площади, расход материалов при монтаже.

В эксплуатационные требования входит:

- сокращение площадей помещений для оборудования систем кондиционирования воздуха и их элементов;
- обеспечение минимальных затрат времени на монтаж, испытания и наладку систем с возможностью позонного ввода их в эксплуатацию;
- увязка работ по сооружению конструкции зданий с монтажом систем кондиционирования;
- звуко- и виброизоляция движущегося оборудования от элементов строительных конструкций, а также противопожарные мероприятия

4 Эстетические требования.

Архитектура здания и его планировка имеют непосредственное влияние на выбор системы кондиционирования воздуха. В условиях застройки центральной исторической части городов требования к сохранению исторического облика памятников архитектуры должны быть высокими. Недопустимо размещение на фасаде здания наружных блоков системы кондиционирования.

5. Экологические требования к системам кондиционирования воздуха.

Воздушная среда современных зданий имеет многокомпонентный химический состав, зависящий от степени загрязнения атмосферного воздуха и мощности внутренних источников загрязнения. К ним, в первую очередь, относятся продукты жизнедеятельности человека, продукты неполного сгорания

бытового газа и продукты деструкции полимерных материалов, входящих в состав отделочных и строительных материалов, предметов личного и домашнего обихода. Токсические вещества действуют на организм человека не изолированно, а в сочетании с различными факторами: температурой, влажностью воздуха, электромагнитными полями, ионно-озонным режимом помещений, радиоактивным фоном.

С одной стороны система кондиционирования предназначена для создания комфортного климата внутри помещений и должны поддерживать чистоту воздуха в обслуживаемой зоне помещения. С другой стороны любые нарушения в эксплуатации и обслуживании системы могут при определенных обстоятельствах привести к обратному эффекту и оказать негативное влияние на здоровье людей и состояние окружающей среды.

#### 6 Экономические требования

Экономические требования предусматривают эффективность системы кондиционирования воздуха, которая определяется высокой надежностью всех элементов системы, заданной обеспеченностью, устойчивостью и управляемостью системы. Эффективность определяется комплексными показателями, важной составляющей которых является минимум приведенных затрат.

#### 7 Требования к энергосбережению в системах обеспечения микроклимата

Системы кондиционирования воздуха вносят значительный «вклад» в потребление энергии в процессе эксплуатации зданий. Мировой опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий различного назначения показывает, что сокращение затрат энергии в основном достигается за счет следующих факторов:

- применения регулируемых систем кондиционирования, позволяющих оптимизировать подачу и потребление энергии;
- устройства локальных систем, позволяющих сократить кондиционируемые площади и объемы здания, предотвратить распространение технологических вредных выделений и обеспечить их эффективную очистку;
- использования утилизации тепла.

## Классификация систем кондиционирования воздуха

В настоящее время не существует общепринятой классификации СКВ. Это связано с различием принципиальных схем СКВ, их технических характеристик, от кондиционируемых помещений. Можно классифицировать современные СКВ по следующим признакам:

1 В зависимости от функции все кондиционеры можно разделить:

1.1 **охлаждающие** – кондиционеры, которые поддерживают заданную температуру в помещении (используются лишь в жаркий период года);

1.2 **охлаждительно-обогревающие** - кроме функции охлаждения служат для круглогодичного поддержания заданной температуры воздуха в помещении (оборудованы калорифером);

1.3 **полной климатизации** – обеспечивают вентиляцию, обогрев, охлаждение и регулирование относительной влажности воздуха.

2 По основному назначению: **комфортные и технологические**. Комфортные СКВ предназначены для обеспечения заданных оптимальных параметров воздуха в жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений. Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха, отвечающих требованиям производства.

3 По принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению: **центральные и местные**. Центральные СКВ расположены вне обслуживаемых помещений и снабжаются холодом, теплом и электрической энергией. Местные СКВ устанавливаются в обслуживаемых помещениях.

4 По наличию собственного источника тепла и холода: **автономные и неавтономные**. Автономные СКВ снабжаются только электрической энергией, например сплит-системы и шкафные кондиционеры. Они имеют встроенные холодильные машины. Неавтономные СКВ снабжаются электроэнергией, воздухом и водой, например центральные кондиционеры.



5 По принципу действия: **прямоточные, рециркуляционные и комбинированные**. Прямоточные СКВ полностью работают на наружном воздухе. Рециркуляционные СКВ работают без притока наружного воздуха. Комбинированные СКВ используют и свежий наружный воздух и воздух помещения в разных пропорциях.

6 По степени обеспечения метеорологических условий в помещении: **первого, второго и третьего класса**.

**Первый класс** - обеспечивает требуемые для технологического процесса параметры в соответствии с нормативными документами.

**Второй класс** - обеспечивает оптимальные санитарно-гигиенические нормы или требуемые технологические нормы.

**Третий класс** - обеспечивает допустимые нормы, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха.

7 По количеству обслуживаемых помещений (локальных зон): **однозональные и многозональные**. Однозональные СКВ применяются для обслуживания больших помещений с равномерным выделением тепла и влаги. Многозональные СКВ применяются для обслуживания небольших помещений, и для больших помещений, в которых оборудование, с выделением тепла и влаги, размещено неравномерно.

8 По давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: **низкого давления** (до 1 кПа), **среднего давления** (от 1 до 3 кПа) и **высокого давления** (выше 3 кПа).

9 По способу регулирования выходных параметров воздуха: с **качественным и количественным регулированием**. При качественном регулировании обработанный воздух выходит из кондиционера по одному каналу и поступает в помещение. При количественном регулировании в помещения подают холодный и теплый воздух по двум каналам. Температура регулируется за счет изменения расходов холодного и теплого воздуха.

Все кондиционеры также можно разделить на **бытовые и промышленные**. Их отличие не в конструктивном исполнении, а в области применения. К бытовым относятся кондиционеры малой и средней мощности (до 7 кВт). Их применяют для охлаждения небольших помещений. К промышленным относят кондиционеры большой мощности, которые используются для охлаждения больших площадей. Также выделяют большой класс кондиционеров, занимающих промежуточное положение между бытовыми и промышленными системами — полупромышленные кондиционеры. При мощности от 7 до 25 кВт, они могут использоваться как в бытовых условиях — коттеджах, многоквартирных квартирах, так и в офисных помещениях, магазинах, на предприятиях.

По конструктивному исполнению все кондиционеры можно разделить на два больших класса: **моноблочные** — состоящие из одного блока (оконные, мобильные и т.п.) и **сплит-системы** — состоящие из двух и более блоков (настенные, канальные, кассетные, VRF-системы и т.п.).

Классифицировать СКВ так же целесообразно по надежности.

Например, если из 100 установленных кондиционеров в течение гарантийного периода вышли из строя 2 из них, то надежность таких кондиционеров — 98%.

**Элитные кондиционеры** (первая группа).

В первую (элитную) группу входят кондиционеры наиболее высокотехнологичных компаний. Большинство кондиционеров первой группы имеют не только отличные потребительские характеристики, но и развитые системы самодиагностики и защиты. Кондиционеры первой группы достаточно дороги, но обладают многими преимуществами. Первое преимущество — это высокая надежность и долговечность. В течение гарантийного срока заводские дефекты обнаруживаются не более, чем у 0,1 — 0,3% кондиционеров (один неисправный кондиционер на каждые 300 — 1000 штук). При правильной эксплуатации и периодическом обслуживании срок службы этих кондиционеров составляет не менее 12 — 15 лет.

При типичном минимальном уровне шума внутреннего блока в 24 — 26 дБ он фактически неслышим. Устойчивая работа в широком температурном диапазоне. Элитные кондиционеры имеют современный дизайн и небольшие габариты.

### **Кондиционеры среднего класса (вторая группа)**

Ко второй группе относятся кондиционеры среднего класса. Эти кондиционеры обладают хорошим соотношением цена и качество, имеют достаточно высокую надежность. По этому параметру кондиционеры среднего класса почти не уступают элитным кондиционерам. Различия заключаются в упрощенной системе защиты от неправильной эксплуатации, чуть большем уровне шума у некоторых моделей и других незначительных отличиях.

### **Бюджетные кондиционеры (третья группа)**

Если различия между кондиционерами внутри первой и второй группы незначительны, то в третьей группе наблюдается существенный разброс, как по качеству, так и по цене входящих в эту группу кондиционеров разных торговых марок. Эти кондиционеры самые дешевые. Недостатки этих кондиционеров проявляются при их сравнении с кондиционерами первой и второй группы.

Процент брака у этих кондиционеров выше, хотя его величина, в среднем около 1%, является вполне допустимой. Самая большая проблема «бюджетных» кондиционеров — нестабильное качество. Также заметно меньше срок службы. Еще один недостаток кондиционеров третьей группы — упрощенная система управления. По сравнению с кондиционерами первой и второй группы в них установлено меньше датчиков, в результате устойчивая работа кондиционера гарантирована в более узком диапазоне температур наружного воздуха. Так, например, у недорогих кондиционеров возможно обмерзание радиатора внутреннего блока при температуре наружного воздуха ниже плюс 10 — 15°C. В то же время, если такой кондиционер планируется использовать преимущественно для охлаждения в жаркое время, то это ограничение не является существенным.

### **3.1 Возможности современных кондиционеров**

#### **а) Охлаждение воздуха**

Главная задача кондиционера – охлаждение воздуха. Хотя бы потому, что нагрев, осушение и очистку воздуха могут обеспечить другие, зачастую более простые и дешевые устройства, а вот давать освежающую прохладу умеет только он. Причем делает это очень экономично – на один киловатт потребляемой электроэнергии выдает порядка 3 кВт холода. Нарушения законов природы здесь нет, так как энергия тратится не на создание прохлады, а на ее перенос с улицы в помещение.

Правда, понижать температуру в помещении можно только до определенного предела. Большинство современных кондиционеров может охладить воздух до +18 °С. При высокой подвижности воздух кажется холоднее. Именно поэтому иллюзию прохлады можно создать при помощи вентилятора.

#### **б) Нагрев воздуха**

Многие современные кондиционеры умеют нагревать воздух. Причем заставить кондиционер работать на тепло можно двумя различными способами. В подавляющем большинстве случаев это делается с помощью так называемого теплового насоса. На самом деле никакого насоса в кондиционере нет: в этом режиме он морозит улицу и греет помещение. При наружных температурах выше -10 °С такое отопление весьма эффективно. На каждый киловатт электроэнергии можно получить от 2,5 до 3,5 кВт тепла.

Чем холоднее на улице, тем меньше тепла дает кондиционер. Риск поломки кондиционера при низких температурах возрастает многократно: это поломка компрессора, поломка лопастей вентилятора наружного блока, сгорание электродвигателя вентилятора наружного блока.

Существуют модели кондиционеров с электрическим подогревом.

#### **в) Осушка воздуха**

Помимо охлаждения и обогрева воздуха все современные кондиционеры умеют осушать воздух. Понижая температуру воздуха, они удаляют из него лишнюю влагу. При высокой влажности дышать трудно, и жара переносится

хуже. Во всех современных моделях даже есть такой режим – «осушение». Это когда температура воздуха почти не изменяется, а влажность падает.

#### г) Вентиляция помещения

В режиме вентиляции не происходит ни охлаждения, ни нагрева, а создается циркуляция находящегося в помещении воздуха и его очистка. Компрессор и вентилятор наружного блока в данном режиме выключены. Вентилятор внутреннего блока работает на заданной скорости.

#### д) Очистка воздуха

Большинство современных бытовых кондиционеров имеют только один фильтр – воздушный механический. Он защищает воздух в помещении и теплообменник внутреннего блока от пыли.

Фильтры тонкой очистки, способные улавливать мельчайшую пыль, пыльцу растений, запахи, сигаретный дым, у многих моделей не входят в стандартную комплектацию и приобретаются отдельно. Чаще всего их изготавливают из активированного угля, потому они называются угольными или дезодорирующими. При большом загрязнении воздуха выгоднее использовать специальные воздухоочистители.

#### е) Ионизация воздуха.

Ионизация воздуха определяется наличием в помещении отрицательно заряженных частиц- молекул кислорода. Обычно в помещениях количество отрицательных ионов в сотни раз меньше, чем в парках и садах. Высокая концентрация аэроионов благотворно влияет на организм человека. Некоторые современные модели кондиционеров оснащены ионизаторами воздуха.

Лекция 4

## **Основные параметры влажного воздуха**

Как известно, сухой воздух состоит на 78% из азота, на 21% из кислорода и около 1% составляют диоксид углерода, инертные и другие газы. Если в воздухе имеются водяные пары, то такой воздух называется влажным воздухом. К

смеси сухого и влажного воздуха применимы все газовые законы. Из термодинамических параметров влажного воздуха, которыми оперируют в курсе кондиционирования воздуха, можно выделить следующие:

- 1) плотность;
- 2) теплоемкость;
- 3) температура;
- 4) влагосодержание;
- 5) парциальное давление водяного пара;
- 6) относительная влажность;
- 7) температура точки росы;
- 8) энтальпия (теплосодержание);
- 9) температура по мокрому термометру.

Термодинамические параметры определяют состояние влажного воздуха и связаны друг с другом.

#### **4.1 Плотность**

Плотностью называется масса вещества в единице объема. Единица измерения плотности  $\text{кг/м}^3$ . Плотность всех газов уменьшается с повышением температуры, так как при нагревании при постоянном давлении они расширяются. Для сухого воздуха при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  плотность равна  $1,2\text{ кг/м}^3$ . При других значениях температуры ее можно вычислить по формуле

$$\rho_t = 353 / (273 + t)$$

Плотность водяных паров может быть определена по формуле

$$\rho_{pt} = 219 / (273 + t)$$

Плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха, так как водяной пар имеет меньшую молекулярную массу, чем сухой воздух. Учитывая, что количество водяных паров в воздухе относительно невелико, уменьшением плотности в практических расчетах можно смело пренебречь.

#### **4.2 Теплоемкость**

Теплоемкостью называется количество теплоты, требуемое для нагрева  $1\text{ кг}$  вещества на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении

равна 1,005 кДж/(кг °С). Теплоемкость водяных паров равна 1,8 кДж/(кг °С). Точно также, как и с плотностью, в практических расчетах пренебрегают изменением теплоемкости влажного воздуха и считают теплоемкость влажного воздуха равной теплоемкости сухого воздуха, то есть 1,005.

### 4.3 Температура

Температура является мерой нагрева тела. В кондиционировании воздуха температуру воздуха указывают по стоградусной шкале Цельсия. В стоградусной шкале за 0 принята температура таяния льда. Температура кипения чистой воды при нормальном атмосферном давлении соответствует 100 °С. В практике приходится иметь дело как с положительными, так и отрицательными значениями температур.

### 4.4 Влагосодержание

Влагосодержанием влажного воздуха называется количество водяных паров в граммах, приходящееся на каждый килограмм сухой части воздуха. Влагосодержание обозначается буквой  $d$ , а единица измерения г/кг с.в.

Количество влаги, которое может максимально содержаться в воздухе при атмосферном давлении, зависит от его температуры, значительно возрастая при ее повышении, как показано ниже в таблице.

Таблица 4.1 - Зависимость влагосодержания от температуры

t, °С	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
d, г/кг с.в.	0,77	1,79	3,8	7,63	14,7	27,3	48,9	86,3	152,0

### 4.5 Парциальное давление водяного пара

Количество водяных паров, находящееся в воздухе, однозначно определяет парциальное давление водяного пара  $p_{вн}$  во влажном воздухе. Чем больше влаги, тем больше  $p_{вн}$ . Связь между количеством влаги и парциальным давлением водяных паров выражается следующими зависимостями

$$d = 623 / (P_0 - p_{вн}),$$

$$p_{вн} = P_0 / (623 + d),$$

где  $P_0$  – барометрическое (атмосферное) давление, Па.

Таким образом, при увеличении количества водяных паров в воздухе, находящемся при некоторой температуре  $t$ , происходит рост парциального давления водяных паров. При некотором предельном влагосодержании парциальное давление достигнет значения давления насыщающих водяных паров  $p_{np}$ , то есть давления над свободной поверхностью жидкости, находящейся при той же температуре  $t$ . Такое состояние влажного воздуха является предельным и называется **насыщенным влажным воздухом**. Увеличить влагосодержание воздуха выше предельного невозможно, так как будет происходить конденсация влаги на центрах активации, и в воздухе появится туман. Состояние тумана – это состояние избыточной влаги в воздухе.

#### 4.6 Относительная влажность

Относительной влажностью влажного воздуха называется отношение парциального давления паров в воздухе к давлению насыщающих водяных паров. Обычно относительную влажность выражают в процентах. Тогда формула для расчета относительной влажности будет

$$\varphi = 100 \times p_{вп} / p_{np},$$

Для абсолютно сухого воздуха  $p_{вп} = 0$ , и  $\varphi = 0 \%$ . При полном насыщении воздуха водяными парами  $p_{вп} = p_{np}$ , и  $\varphi = 100 \%$ . Относительной влажностью, таким образом, является мера степени насыщения воздуха водяными парами.

#### 4.7 Энтальпия (теплосодержание)

Энтальпией влажного воздуха называется количество теплоты, которое требуется на то, чтобы перевести 1 кг абсолютно сухой воздух ( $d = 0$ ), находящийся при  $0^\circ\text{C}$ , в некое другое состояние с температурой  $t$  и влагосодержанием  $d$ .

Из данного определения следует, что при  $t = 0$  и  $d = 0$  энтальпия воздуха также равна 0.

Энтальпия воздуха измеряется в кДж/кг с.в (килоджоули на килограмм сухого воздуха).



#### **4.8 Температура точки росы**

Если влажный воздух, имеющий относительную влажность  $0 < \varphi < 100 \%$ , охлаждать, то при понижении температуры будет уменьшаться давление насыщенных водяных паров, которое зависит только от температуры. При этом влагосодержание воздуха будет оставаться неизменным, а относительная влажность будет увеличиваться. В некоторый момент при определенной температуре значение  $r_{нп}$  достигнет значения  $r_{вп}$ . В этот момент относительная влажность достигнет значения  $100\%$  – влажный воздух приобретет состояние полного насыщения. При дальнейшем охлаждении  $r_{нп}$  станет меньше  $r_{вп}$ , и часть влаги начнет конденсироваться на холодных поверхностях, контактирующих с воздухом, или образуется туман. Таким образом, дальнейшее охлаждение воздуха приводит к его перенасыщению влагой, что ведет к выпадению конденсата – росы. Поэтому та предельная температура, до которой можно охлаждать воздух без выпадения конденсата, и начиная с которой процесс дальнейшего охлаждения сопровождается выпадением конденсата, называется температурой точки росы.

#### **4.9 Температура по мокрому термометру**

Температура мокрого термометра зависит от влажности воздуха. Чем меньше относительная влажность, тем ниже давление паров в воздухе и тем интенсивнее идет испарение, поэтому температура будет ниже.

Температура мокрого термометра названа так потому, что данный процесс используется для измерения влажности воздуха психрометрическим методом, при котором используются два термометра – "сухой" и "мокрый". Сухой термометр показывает просто температуру воздуха. Шарик мокрого термометра обернут тонкой тряпочкой, которую смачивают водой перед началом измерения. Зная показания двух термометров, можно определить влажность воздуха.

#### 4.10 I-d диаграмма влажного воздуха

В области вентиляции и кондиционирования воздуха приходится часто определять те или другие параметры воздуха. Чтобы избежать многочисленных вычислений, их определяют обычно по специальной диаграмме, составленной в 1918 году профессором Л.К. Рамзиным. Она носит название **I-d диаграммы**. Она позволяет быстро определить все параметры воздуха по двум известным. Использование диаграммы позволяет избежать вычислений по формулам и наглядно отобразить вентиляционный процесс. Типовая схема I-d диаграммы показана ниже на рис. 4.1.

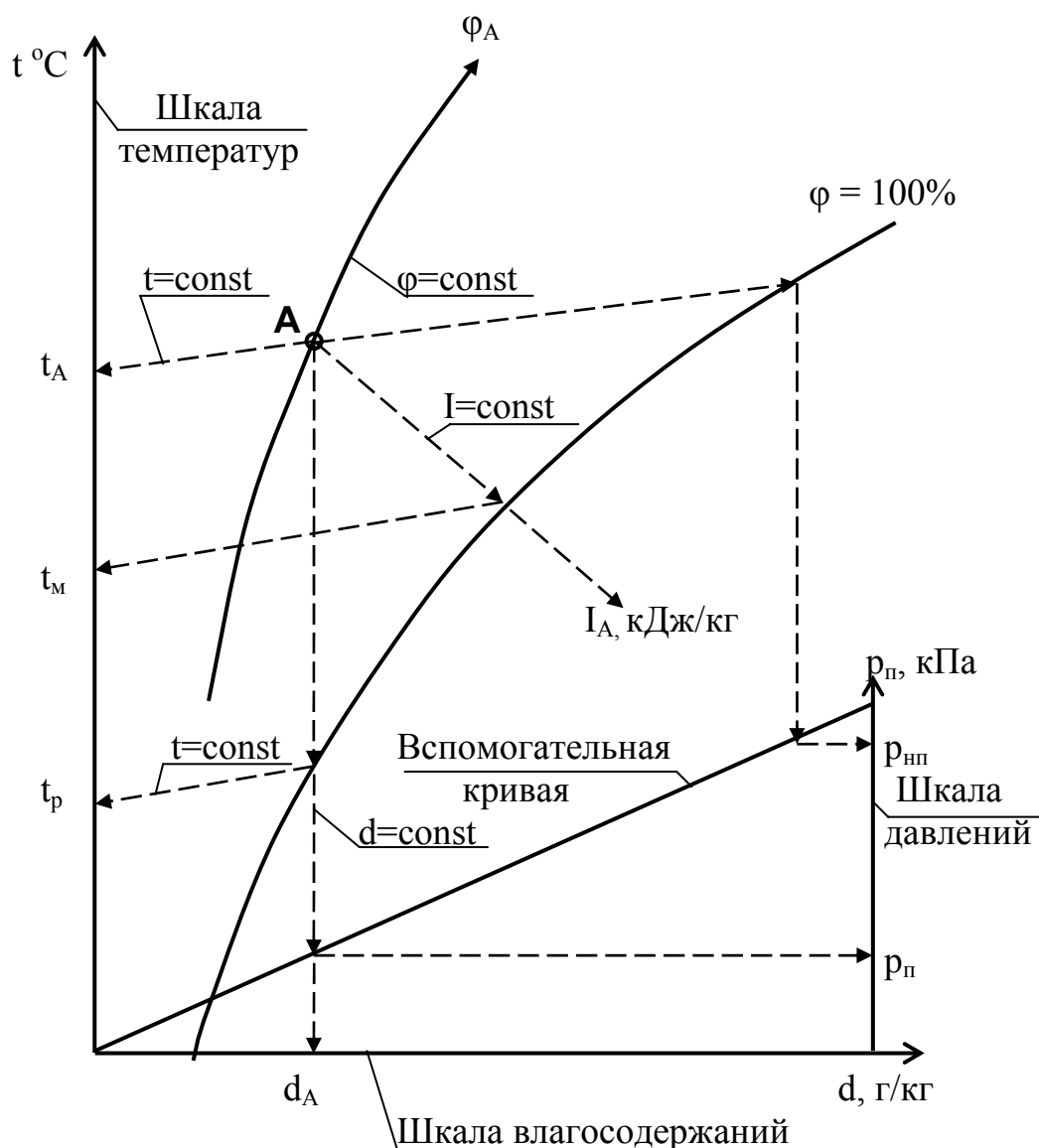


Рис. 4.1 - Схема определения параметров влажного воздуха на I-d диаграмме

Диаграмма составлена в косоугольной системе координат I-d, на котором нанесено несколько координатных сеток и по периметру диаграммы – вспомогательные шкалы. Шкала влагосодержания обычно располагается по нижней кромке диаграммы. Линии постоянных энтальпий представляют параллельные прямые, обычно идущие под углом  $135^\circ$  к вертикальным линиям влагосодержания. Косоугольная система координат выбрана для того, чтобы увеличить рабочее поле диаграммы. В такой системе координат линии постоянных температур представляют из себя прямые линии, идущие под небольшим наклоном к горизонтали и слегка расходящиеся веером.

Рабочее поле диаграммы ограничено кривыми линиями равных относительных влажностей 0% и 100%, между которыми нанесены линии других значений равных относительных влажностей с шагом 10%. Оформление диаграммы в принципе может быть несколько различным. Аналогом I-d диаграммы на западе является диаграмма Молье или психрометрическая диаграмма.

Шкала температур обычно располагается по левой кромке рабочего поля диаграммы. Значения энтальпий воздуха нанесены обычно под кривой  $\phi = 100\%$ . Значения парциальных давлений иногда наносят по верхней кромке рабочего поля, иногда по нижней кромке под шкалой влагосодержания, иногда по правой кромке. В последнем случае на диаграмме добавочно строят вспомогательную кривую парциальных давлений.

#### **4.11 Определение параметров влажного воздуха на I-d диаграмме.**

Точка на диаграмме отражает некое состояние воздуха, а линия – процесс изменения состояния. Определение параметров воздуха, имеющего некое состояние, отображаемое точкой А, показано на рис. 4.1.

## Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме

### 5.1 Угловой коэффициент луча процесса

В процессе изменения состояния воздух изменяет все или некоторые свои параметры. Процесс изменения состояния на I-d диаграмме отображается прямой линией (лучем), выходящей из точки **А**, соответствующей начальному состоянию воздуха. Точка конечного состояния **Б** лежит на луче и ограничивает отрезок с другой стороны. Для характеристики **направления** изменения состояния используется понятие **углового коэффициента луча процесса  $\varepsilon$** , часто называемого для краткости просто **угловым коэффициентом**

$$\varepsilon = 1000 (I_B - I_A) / (d_B - d_A) = 1000 \Delta I / \Delta d.$$

В этом уравнении коэффициент 1000 (г/кг) служит лишь для перевода единиц измерения: значение углового коэффициента выражено в кДж/кг, в то время как влагосодержание принято выражать в г/кг. Особо отметим, что размерность углового коэффициента внешне совпадает с размерностью энтальпии воздуха (кДж/кг), однако на самом деле это абсолютно разные величины: в знаменателе для энтальпии понимается килограмм сухого воздуха, а для углового коэффициента – килограмм влаги.

Для любого процесса однозначно можно определить конкретное значение углового коэффициента. Значимость этого параметра состоит в том, что он характеризует наклон линии луча процесса на I-d диаграмме. Существует несколько типовых процессов, для которых заранее известно значение углового коэффициента.

Отличие I-d диаграммы от привычной декартовой системы координат состоит лишь в том, что она косоугольная: угол между осями энтальпии и влагосодержания обычно равен 135°. Во всем остальном имеется почти полная аналогия. Вертикальная линия и в той и в другой системе координат имеет угловой коэффициент, равный бесконечности, угловой коэффициент горизонтальной линии в обеих системах равен 0.

Особо подчеркнем, что угловой коэффициент и на I-d диаграмме не может указывать направление луча процесса, а характеризует только его наклон.

## **5.2 Процессы нагрева и охлаждения воздуха и их отображение на I-d диаграмме**

### ***а) Чистый нагрев***

Процесс нагрева воздуха от некоторых источников явного тепла (например, нагретых поверхностей) идет без изменения влагосодержания по линии  $d=const$  вверх. Это очень распространенный процесс, когда воздуху передается только тепло без влаги: теплоотдача от нагревательных приборов или оборудования, нагрев воздуха в теплообменниках (калориферах).

Теоретически, нагрев может идти неограниченно вверх, то есть конечное значение температуры может быть очень большим. В вентиляции чаще всего имеют дело с температурами до  $70^\circ$ , так как это предельное значение температуры воздуха, с которой его можно подавать в помещение.

Учитывая, что влага воздуху не передается,  $\Delta d = 0$ , итогда

$$\varepsilon = 1000 \Delta I / 0 = \pm\infty.$$

Отметим сразу же, что знак углового коэффициента в этом процессе не определен, так как значение 0 не имеет знака, а является точкой смены его. Лишь условно можно считать, что процесс чистого нагрева имеет  $\varepsilon = +\infty$ . Если  $\Delta d$  будет иметь бесконечно малое, но отрицательное значение, то знак изменится на отрицательный. Фактически вертикальная линия является границей скачка знака: малейший наклон ее от вертикали влево приводит к отрицательному знаку, а малейший наклон вправо – к положительному. Точно так же в декартовой системе координат тангенс угла  $90^\circ$  равен  $+\infty$ , и функция тангенса в этой точке имеет разрыв.

### ***б) Чистое охлаждение*** (без конденсации водяных паров)

Процесс идет также без изменения влагосодержания по вертикальной линии  $d=const$  вниз, теоретически до до кривой  $\varphi = 100\%$ . Этот процесс возможен при контакте воздуха с холодными поверхностями наружных ограждений или

оборудования. Угловой коэффициент для данного процесса тоже равен бесконечности, условно считается, что знак отрицательный ( $\varepsilon = -\infty$ ).

#### ***в) Охлаждение с конденсацией водяных паров***

Фактически это охлаждение воздуха ниже температуры точки росы.

Если температура воздуха выше точки росы, то процесс вначале идет как чистое охлаждение, без изменения влагосодержания по линии  $d=\text{const}$  вниз до кривой  $\phi = 100\%$ . В конце этого процесса воздух принимает насыщенное состояние ( $\phi = 100\%$ ). Затем процесс идет вниз по линии  $\phi = 100\%$  до конечной температуры. На второй стадии процесса некоторое количество влаги  $\Delta d$  выпадает в виде конденсата. Именно эту вторую стадию и следует понимать как охлаждение с конденсацией водяных паров.

Этот процесс возможен при контакте воздуха с холодными поверхностями наружных ограждений, оборудования или холодной водой, имеющих температуру ниже температуры точки росы. В кондиционировании этот процесс используется сознательно для осушения воздуха.

При контакте теплого влажного воздуха с холодным воздухом также происходит охлаждение с конденсацией, но влага выпадает не на холодных поверхностях, а непосредственно в объеме воздуха в виде тумана.

Учитывая, что данным процессе  $\Delta I < 0$  и  $\Delta d < 0$ , тогда

$$\varepsilon = 1000 \Delta I / \Delta d > 0.$$

За счет сильного охлаждения может воздух может быть очень сильно осушен. Уже при температуре  $-20^\circ\text{C}$  влагосодержание влажного воздуха всего  $0,8 \text{ г/кг}$ , а при более низких температурах оно еще меньше. Поэтому зимой наружный атмосферный воздух имеет очень маленькое влагосодержание даже при относительной влажности более  $80 \%$ .

### **5.3 Процесс адиабатического охлаждения воздуха и его отображение на I-d диаграмме**

Процесс адиабатического охлаждения воздуха при контакте с водой, имеющей температуру мокрого термометра, идет за счет испарения влаги, при котором явная теплота воздуха переходит в скрытую теплоту водяных паров.

Поэтому данный процесс называют также **прямым испарительным охлаждением**. Учитывая, что явное тепло, затраченное на испарение влаги, возвращается снова в воздух в виде скрытого тепла, энтальпия воздуха в этом процессе измениться не может. На I-d диаграмме процесс идет по линии  $I = \text{const}$  вниз до кривой  $\phi = 100\%$ . Учитывая, что теплота воздуху не передается,  $\Delta I = 0$ , и тогда

$$\varepsilon = 1000 \, 0 / \Delta d = 0$$

Это распространенный процесс, осуществляемый в основном в форсуночных оросительных камерах кондиционеров путем распыления форсунками непрерывно циркулирующей воды в объеме камеры, через которую проходит обрабатываемый воздух. Основное условие – достаточно большая поверхность массообмена, что достигается за счет мелкого распыла воды. Реально достигается относительная влажность воздуха порядка 95%. Адиабатическое охлаждение может быть осуществлено и в аппаратах с пористой насадкой (орошаемые слои), при орошении циркулирующей водой.

Кроме того, имеются устройства для испарительного охлаждения путем мелкого распыла воды непосредственно в воздух помещений. Они имеют, как правило, относительно небольшую производительность.

#### **5.4 Процесс увлажнения воздуха паром и его отображение на I-d диаграмме**

Увлажнение воздуха паром осуществляется при непосредственном выпуске пара в помещение, а чаще в кондиционерах комфортного и технологического кондиционирования при увлажнении воздуха паровыми увлажнителями. Пар подается непосредственно в приточный воздуховод через перфорированную трубку, расположенную внутри него. Сам процесс испарения воды, то есть приготовления пара, осуществляется в отдельном устройстве – парогенераторе. Чаще всего для испарения используется электрический нагрев. Конструкция парогенератора позволяет плавно регулировать количество образующегося пара или изменяя расход подаваемой в него воды, или изменяя мощность нагревателя.

Учитывая, что испарение происходит при атмосферном давлении, температура пара почти всегда около  $100^\circ\text{C}$ . При этом явное тепло, которое несет

пар, составляет лишь 6% от общей теплоты, а 94% приходится на скрытую теплоту парообразования. Поэтому можно считать, что в воздух вносится лишь скрытое тепло, и процесс идет практически по линии  $t=\text{const}$  (на самом деле чуть выше), в пределе до кривой  $\phi = 100\%$ . Угловой коэффициент луча процесса примерно соответствует скрытой теплоте парообразования ( $\varepsilon = 2500$ ), на самом деле чуть больше.

При высокой относительной влажности воздуха пар начинает конденсироваться на холодных поверхностях, локально образуя в объеме воздуха зоны тумана, то есть капельной влаги. При конденсации выделяется явное тепло, так как происходит процесс преобразования скрытого тепла в явное. При этом воздух и поверхности, на которых происходит конденсация, повышают свою температуру. Точный расчет такого процесса затруднителен из-за необходимости учета локальных температур воздуха и поверхностей.

### **5.5 Осушение воздуха. Обработка воздуха сорбентами**

Под термином "сорбенты" здесь понимаются любые пористые гигроскопичные вещества, способные поглощать влагу. Одним из наиболее известных сорбентов с высоким поглощением влаги является силикагель.

Силикагель выпускается в виде небольших гранул и закладывается в небольших мешочках в упаковки различных приборов и аппаратов для стабилизации влажностного режима. Не рассматривая здесь подробно физические основы процессов сорбции и десорбции, отметим лишь наиболее важную особенность твердых сорбентов: при изменении температуры сорбента равновесная относительная влажность воздуха почти не изменяется (рис. 5.1).

При достаточно большом количестве сорбента можно считать, что воздух, находящийся с ним в контакте, принимает относительную влажность, соответствующую равновесной влажности сорбента. Процессы нагрева и охлаждения воздуха в замкнутом объеме при этом идут практически по линии  $\phi=\text{const}$  (вверх при нагреве и вниз при охлаждении). Сорбент выполняет роль стабилизатора влажности.



Данный процесс может использоваться в замкнутых помещениях с радиоэлектронным оборудованием для стабилизации их влажностного режима. Использование сорбента позволяет сгладить скачки колебаний влажности, вызванные изменением температурного режима, связанные с резким изменением потребляемой электрической мощности.

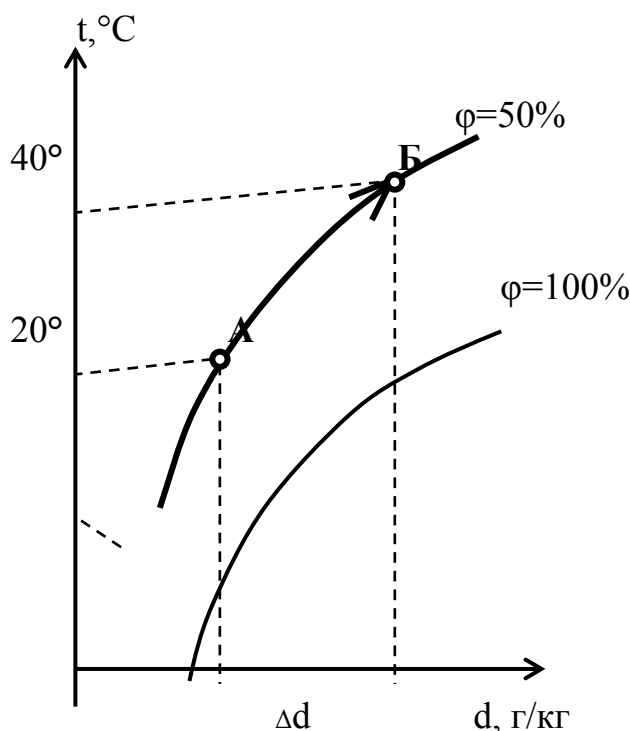


Рис. 5.1 Нагрев замкнутого объема воздуха с твердым сорбентом

Кроме твердых сорбентов для обработки воздуха могут применяться жидкие сорбенты – растворы солей. Равновесная влажность воздуха над раствором соли зависит от концентрации раствора и температуры.

### 5.6 Смешивание влажного воздуха

Особым процессом является процесс смешивания двух количеств воздуха (или двух расходов), начальные состояние которых на I-d диаграмме отображаются точками А и Б.

В результате смешивания оба воздуха изменяют свое состояние и принимают конечное состояние смеси, отображаемое на диаграмме точкой  $C_{AB}$ , которая лежит на прямом отрезке, соединяющем точки начальных состояний А и Б (рис. 5.2).



Как видно, принципиальный вид и смысл уравнений для любого параметра одинаков: количество вещества или теплоты в смеси равно сумме вкладов двух составляющих.

Выбор, какой именно параметр использовать для определения положения точки смеси, основывается на принципе достижения максимальной точности построения. Если смешиваемые количества имеют примерно равные влагосодержания, то нет смысла определять параметр  $d_C$ , так как это даст большую погрешность, а следует определить параметр  $t_C$ , при котором точность построения будет максимальна.

Таким образом, следует соблюдать простое правило:

- а) для примерно вертикальных линий смешивания лучше определять параметр  $I_C$ ;
- б) для примерно горизонтальных линий смешивания лучше определять параметр  $d_C$ ;
- в) для линий смешивания, наклоненных примерно под углом  $45^\circ$ , лучше определять  $I_C$ .

В некоторых случаях точка смеси при построении может попасть ниже кривой  $\varphi = 100\%$ . такого состояния воздуха не может быть, поэтому при смешивании часть влаги конденсируется в виде тумана. При этом из воздуха с влагой уходит часть скрытого тепла, однако почти такое же количество теплоты конденсации поступает в воздух в явном виде. Поэтому общее теплосодержание воздуха не меняется, и реальная точка смеси будет расположена на пересечении кривой  $\varphi = 100\%$  и линии, проведенной по  $I = const$  из предварительной точки смеси  $C$ . Пример такого построения показан на рисунке 3.3: исходные состояния воздуха отображаются точками  $E$  и  $D$ , а результат смешивания соответствует точке  $C_{де}$ . Количество влаги  $\Delta d$  выпадает в виде конденсата, то есть тумана.

## Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

### 6.1 Расчетные параметры наружного воздуха

В вентиляции и кондиционировании воздуха основными расчетными параметрами наружного воздуха являются **температура, энтальпия и скорость** наружного воздуха. Наружные параметры задаются для трех периодов: **холодного, переходного и теплого**.

Переходный период является неким расчетным граничным состоянием воздуха между теплым и холодным. За расчетные параметры переходного периода принимается температура **8°C** и энтальпия **22,5 кДж/кг**. Среднесуточная температура 8°C выбрана в качестве расчетной для переходного периода не случайно, она соответствует моменту отключения систем отопления общественных зданий (производственные здания часто отключаются и раньше с целью экономии тепловой энергии) и переводу систем теплоснабжения на летний режим.

Параметры наружного воздуха непрерывно меняются и зависят от района строительства и сезона года.

Температура наружного воздуха изменяется непрерывно. Существуют суточные колебания, месячное изменение и годовой цикл. Применительно к наружному климату можно говорить только о некоторых усредненных его показателях, так как даже в одной и той же местности климат одного года может существенно отличаться от предыдущего. Недаром говорят, что в такой-то год зима или лето были холодными или, наоборот, теплыми.

Самым холодным месяцем обычно является январь, а самым жарким – июль. В некоторый момент в январе, среднесуточная температура наружного воздуха достигает своего минимального значения за год, а в июле – максимального. Если принять за расчетную температуру для каждого из периодов именно эти значения, то мощность оборудования систем кондиционирования воздуха (СКВ) выйдет наибольшей, то есть максимальной. Очевидно, что система при

этом окажется дороже. При этом практически весь расчетный период СКВ будет работать в режиме пониженной мощности.

Если же взять для холодного периода более высокие значения температуры, а для теплого периода – более низкие, то некоторый промежуток времени система не сможет обеспечивать расчетные параметры воздуха в помещении. Степень обеспечения характеризуется коэффициентом обеспеченности. Значение  $K_{об} = 0,7$  означает, что 70% продолжительности расчетного периода система сможет обеспечивать требуемый уровень параметров воздуха в помещении, а 30% времени параметры будут не соответствовать заданным. В эти 30 % времени мощности системы (холодильной в теплый период, нагревательной – в холодный) не хватит для поддержания заданного значения внутренней температуры. Однако при этом затраты на систему окажутся существенно меньше.

При выборе расчетного коэффициента обеспеченности учитывают период года и уровень требований к зданию. Для некоторых производственных зданий с системы следует проектировать на предельные параметры наружного климата (предприятия электроники, точной механики и оптики, фармацевтические предприятия и др.). Для большинства зданий обычного назначения за расчетную температуру холодного периода принимают температуру холодной пятидневки (параметры Б). Это примерно соответствует коэффициенту обеспеченности 98%, при этом продолжительность отклонения параметров от расчетных составит примерно 50 часов. Такой короткий срок объясняется тем, что при продолжительном снижении температуры в помещениях резко увеличивается количество простудных заболеваний.

Для теплого периода года можно допустить значительно более длительный период отклонения параметров в помещении от расчетных, так как это приведет к нарушению комфорта в помещении, но не к заболеваниям. Для более ответственных помещений, к которым предъявляются более высокие требования, следует проектировать СКВ, которые рассчитываются по параметрам Б и для теплого периода.

Значение географической широты местности является важным при расчете теплопоступлений от солнечной радиации, так как на разных широтах интенсивность и продолжительность солнечной инсоляции различна. Кроме того, очевидно, чем больше значение широты, тем более холодным является климат данной местности.

Барометрическое давление указывается для того, чтобы можно было использовать соответствующую I-d диаграмму (они выпускаются на различное атмосферное давление), что позволяет несколько повысить точность определения параметров воздуха на различных стадиях вентиляционного процесса. Использование более точной диаграммы целесообразно при проектировании кондиционирования воздуха, где производится влажностная обработка воздуха.

Концентрации углекислого газа в наружном воздухе зависит оттого, в сельской местности или в крупном промышленном городе расположен проектируемый объект, так как в воздух городов углекислый газ поступает от автомобильного транспорта, труб котельных и ТЭЦ, производственного оборудования, в котором осуществляется процесс сжигания топлива. Значения концентраций  $\text{CO}_2$  приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 - Концентрации углекислого газа в наружном воздухе

Место	Концентрация $C, \text{ л/м}^3$
Сельская местность	0,33
Малые города	0,4
Большие промышленные города	0,5

## 6.2 Расчетные параметры внутреннего воздуха

Под параметрами **внутреннего** воздуха понимают параметры воздуха в **обслуживаемой или рабочей** зоне помещения. В верхней зоне помещения, где обычно нет людей, параметры не нормируются.

Параметры внутреннего воздуха назначаются отдельно для теплого и холодного периодов года. Для переходного периода принимаются такие же параметры, как и для холодного.

Для помещений общественных зданий при расчетах СКВ ориентируются на допустимый диапазон параметров (табл. 3), так как вентиляция не предназначена для поддержания оптимальных параметров. Обычно при наличии избытков тепла в помещении назначают температуру, соответствующую верхней границе допустимого диапазона, а при наличии недостатков тепла в помещении — нижней границе.

Следует отметить, что температура 18 °С действительно является нижним допустимым значением при условии, что люди находятся без верхней (уличной) одежды в спокойном состоянии. Такая температура не является оптимальной, и большинство людей при ней ощущают некоторую прохладу. Оптимальным значением является диапазон 20-22 °С.

При наличии двух систем обеспечения микроклимата (система отопления и СКВ) следует правильно организовать управление работой систем автоматического регулирования тепловой мощности каждой системы. В противном случае может получиться так, что система отопления снижает свою теплоотдачу, стремясь понизить температуру в помещениях, а СКВ увеличивает подогрев приточного воздуха, стремясь поддержать внутреннюю температуру на заданном уровне. Лучше всего, чтобы одна из систем работала с постоянной теплоотдачей, а регулирование температуры в помещениях осуществляла другая система.

Кроме того, следует предусмотреть работу системы в нештатных ситуациях. Например, в холодный период кто-то оставил открытой форточку в помещении, и температура воздуха в нем начинает понижаться. Тогда система автоматика системы отопления, открывая регулирующий клапан, увеличивает расход теплоносителя через отопительный прибор, что повышает его теплоотдачу. Следствием такой работы автоматики является перерасход тепловой энергии.

Таблица 6.2 - Допустимые нормы параметров внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий (для людей, находящихся в помещении более 2 ч непрерывно)

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %, не более	Скорость воздуха, м/с, не более
Теплый	Не более чем на 3° выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) Не выше 28 °С * для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей	65***	0,5
Холодный и переходный	18** – 22	65	0,2

*Примечания:*

\* Для районов с  $t_n = 25$  °С и выше следует принимать температуру не выше 33 °С.

\*\* Для общественных зданий с пребыванием людей в уличной одежде следует принимать температуру 14 °С.

\*\*\* В районах с расчетной относительной влажностью наружного воздуха более 75% допускается принимать влажность внутреннего воздуха 75%.

Для теплого периода практически всегда в помещении присутствуют тепловые избытки (технологических процессов с поглощением тепла практически не существует), поэтому температура внутреннего воздуха всегда будет выше наружной температуры. Наружный воздух подается в помещение, нагревается в нем до внутренней температуры, и затем удаляется из помещения, унося избыточное тепло.

Чем больше разница температур внутри помещения и снаружи, тем меньше воздуха требуется подать в помещение, чтобы удалить тепловые избытки, и, следовательно, меньше затраты на систему.



Однако температура внутри помещения не должна быть слишком высокой, так как это нарушает тепловой комфорт людей. В качестве приемлемого компромисса между стоимостью системы и комфортом людей принято следующее базовое положение по отношению к расчетной температуре внутреннего воздуха в теплый период: внутренняя температура должна быть не более чем на  $3^{\circ}$  выше наружной ( $t_{в} = t_{н} + 3^{\circ}$ ).

Учитывая, то при температуре  $28^{\circ}\text{C}$  большинство людей ощущает тепловой дискомфорт, и резко падают их внимание и работоспособность, при умеренном климате ( $t_{н} < 25^{\circ}$ ) за верхнюю разумную границу внутренней температуры принимают именно это значение  $28^{\circ}$ , так как это позволяет получить более-менее приемлемые затраты на СКВ и обеспечить более-менее приемлемые условия для людей.

В жарком климате допускаемое значение увеличивают до  $33^{\circ}$ . Это вынужденная мера, так как при наличии тепловых избытков внутренний воздух все равно будет перегреваться. Наиболее неблагоприятные условия будут при высокой температуре наружного воздуха и высокой относительной влажности (приморские южные районы), так как при высокой влажности воздуха ухудшается испарение влаги с поверхности кожи, и тем самым ухудшается охлаждение организма за счет уменьшения отвода скрытого тепла испарения.

Особым случаем является сухой и жаркий климат. Во-первых, при низкой относительной влажности происходит интенсивное испарение влаги с поверхности кожи, что сам по себе улучшает охлаждение организма. Поэтому в таком климате даже при высокой температуре человек чувствует себя лучше, чем во влажном приморском климате.

Во-вторых, здесь есть достаточно простое средство для снижения температуры наружного воздуха перед подачей его в помещение – испарительное (адиабатическое) охлаждение. Охлаждение производится без использования холодильной машины, но в сухом жарком климате позволяет существенно снизить температуру воздуха и обеспечить в помещении температуру до  $28^{\circ}\text{C}$  при

приемлемых расходах воздуха. Если принять расчетную внутреннюю температуру выше, то расход воздуха еще существенно уменьшится.

Расчетную концентрации углекислого газа (диоксид углерода, двуокись углерода,  $\text{CO}_2$ ) во внутреннем воздухе принимают равной предельно допустимой концентрации (ПДК) в помещении. Значения ПДК для  $\text{CO}_2$  приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 - Концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе помещений

Место	Концентрация л/м <sup>3</sup>
Детские комнаты и больницы	0,7
Места постоянного пребывания людей (жилые комнаты)	1,0
Места периодического пребывания людей, более 2 ч непрерывно (учреждения, зрительные залы)	1,25
Места кратковременного пребывания людей, менее 2 ч непрерывно (учреждения, магазины, столовые)	2,0

Лекция 7

## Принцип работы кондиционера. Сплит-системы

### 7.1 Принцип работы кондиционера

В основе работы любого кондиционера лежит свойство жидкостей поглощать тепло при испарении и выделять — при конденсации. Чтобы понять, каким образом происходит этот процесс, рассмотрим схему работы кондиционера на примере сплит-системы (рис 7.1).

Основными узлами любого кондиционера являются:

Компрессор — сжимает фреон и поддерживает его движение по холодильному контуру.

Конденсатор — радиатор, расположенный во внешнем блоке. Название отражает процесс, происходящий при работе кондиционера — переход фреона из газообразной фазы в жидкую (конденсация).

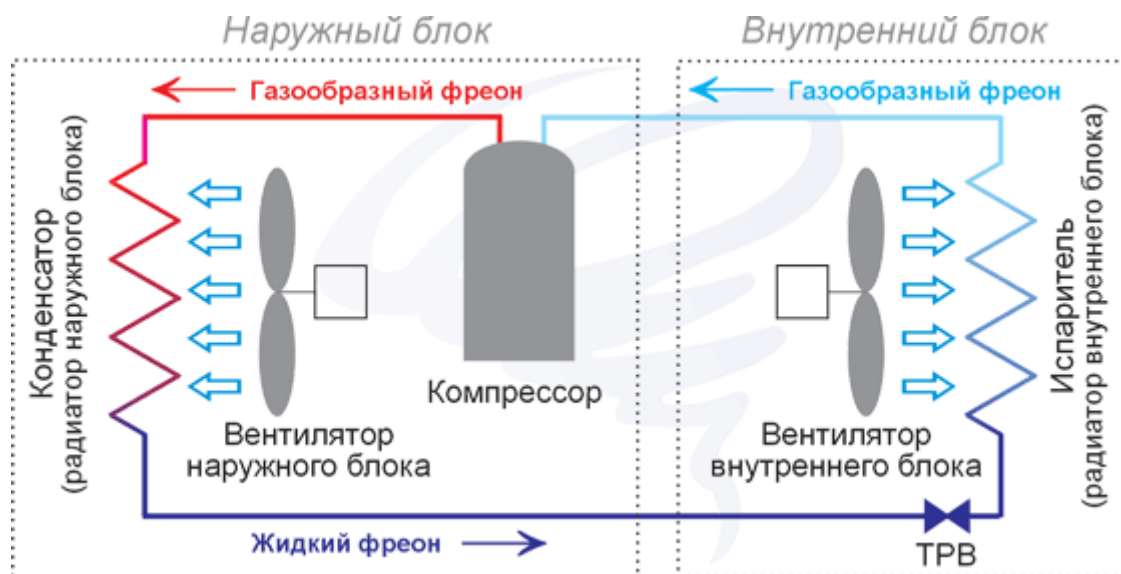


Рис.7.1 Движение хладагента

Испаритель — радиатор, расположенный во внутреннем блоке. В испарителе фреон переходит из жидкой фазы в газообразную (испарение).

ТРВ (терморегулирующий вентиль) — понижает давление фреона перед испарителем.

Вентиляторы — создают поток воздуха, обдувающего испаритель и конденсатор. Используются для более интенсивного теплообмена с окружающим воздухом.

Компрессор, конденсатор, ТРВ и испаритель соединены медными трубами и образуют холодильный контур, внутри которого циркулирует смесь фреона и небольшого количества компрессорного масла.

В процессе работы кондиционера происходит следующее. На вход компрессора из испарителя поступает газообразный фреон под низким давлением в 3 - 5 атмосфер и температурой 10 - 20°C. Компрессор сжимает фреон до давления 15 - 25 атмосфер, в результате чего фреон нагревается до 70 - 90°C, после чего поступает в конденсатор.

Благодаря интенсивному обдуву конденсатора, фреон остывает и переходит из газообразной фазы в жидкую с выделением дополнительного тепла. Соответственно, воздух, проходящий через конденсатор, нагревается.

На выходе конденсатора фреон находится в жидком состоянии, под высоким давлением и с температурой на 10 - 20°C выше температуры атмосферного воздуха. Из конденсатора теплый фреон поступает в терморегулирующий вентиль (ТРВ), который в простейшем случае представляет собой капилляр (длинную тонкую медную трубку свитую в спираль). На выходе ТРВ давление и температура фреона существенно понижаются, часть фреона при этом может испариться.

После ТРВ смесь жидкого и газообразного фреона с низким давлением поступает в испаритель. В испарителе жидкий фреон переходит в газообразную фазу с поглощением тепла, соответственно, воздух, проходящий через испаритель, остывает. Далее газообразный фреон с низким давлением поступает на вход компрессора и весь цикл повторяется.

Этот процесс лежит в основе работы любого кондиционера и не зависит от его типа, модели или производителя.

Кстати, одна из наиболее серьезных проблем в работе кондиционера возникает в том случае, если в испарителе фреон не успевает полностью перейти в газообразное состояние. В этом случае на вход компрессора попадает жидкость, которая, в отличие от газа, несжимаема. В результате компрессор просто выходит из строя. Причин, по которым фреон не успевает испариться может быть несколько, самые распространенные — загрязненные фильтры (при этом ухудшается обдув испарителя и теплообмен) и включение кондиционера при отрицательных температурах наружного воздуха (в этом случае в испаритель поступает слишком холодный фреон).

В режиме охлаждения (рис. 7.2) кондиционер забирает из помещения лишнее тепло и «выбрасывает» его наружу.



Рис. 7.2 Работа кондиционера в режиме охлаждения

Современные кондиционеры могут работать не только на охлаждение, но и на обогрев помещения. При этом внутренний и наружный блоки просто меняются своими функциями: теплообменник внутреннего блока становится конденсатором, а теплообменник наружного блока — испарителем. В режиме обогрева кондиционер, наоборот, отбирает тепло у уличного воздуха и отдает его воздуху помещения (рис.7.3). Кондиционер, работающий в таком режиме, называют «тепловым насосом», ведь он как бы перекачивает тепло с улицы в дом.

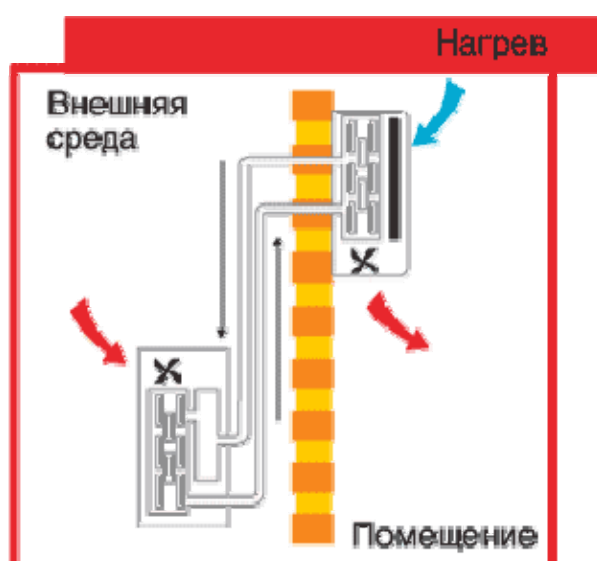


Рис. 7.3 Работа кондиционера в режиме обогрева

Известно, что на холодной поверхности конденсируется влага из воздуха. Благодаря этому кондиционер, работающий на охлаждение, умеет осушать воздух в комнате (рис.7.4). В режиме осушения температура воздуха в комнате практически не меняется, зато содержание в нем влаги падает.



Рис. 7.4 Работа кондиционера в режиме осушения

При необходимости можно вообще отключить компрессор и вентилятор наружного блока, дав возможность поработать только вентилятору внутреннего блока. Это режим вентиляции, когда воздух интенсивно прогоняется через внутренний блок и направляется выходными жалюзи в нужную область помещения.

## 7.2 Сплит-системы

Эти кондиционеры получили свое название от английского слова «split», что означает «раздельный». Сплит-системы состоят из двух блоков — внутреннего и наружного. Такое разбиение понадобилось сразу по нескольким причинам. Во-первых, благодаря тому, что наиболее шумный узел любого кондиционера — компрессор — вынесен во внешний блок, на улицу, в помещении, оснащённом сплит-системой, достаточно тихо. Во-вторых, кондиционер не привязан к оконному проему. Внешний блок размещается на улице, а внутренний —

в любом удобном месте внутри помещения. При этом площадь окон не уменьшается и можно свободно пользоваться шторами и жалюзи. Внутренние блоки бывают настенные, потолочные, колонные, универсальные, напольные, а также встраиваемые в подвесной потолок – канальные и кассетные.

### 7.3 Конструкция типовой сплит-системы настенного типа

СКВ на базе кондиционеров сплит систем применяется:

- в существующих зданиях, в офисных помещениях, в жилых комнатах;
- во вновь строящихся зданиях, в гостиницах и других помещениях.

Сплит-системы настенного типа работают, как правило, на рециркуляцию. Приток свежего воздуха осуществляется через окна. При необходимости подачи и удаления воздуха в помещении предусматривается отдельная система приточно-вытяжной вентиляции.

Рассмотрим более подробно конструкцию настенной сплит-системы.

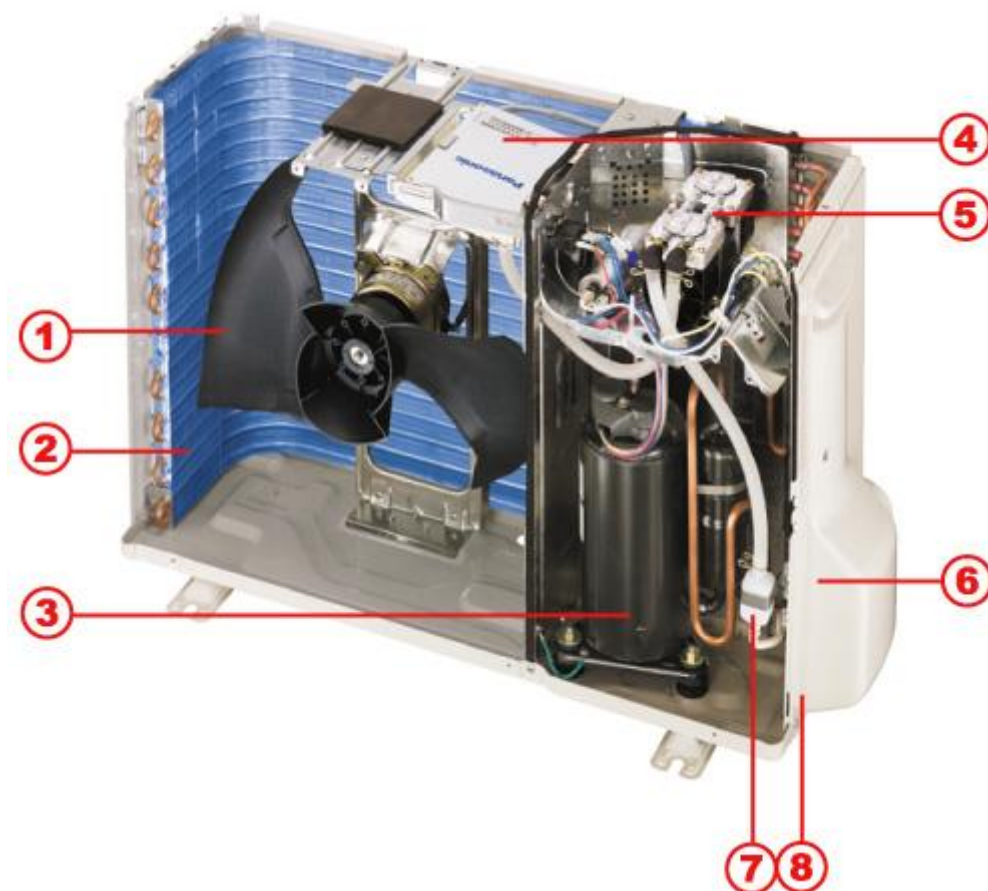


Рис.7.5 Наружный блок кондиционера

1 Вентилятор создает поток воздуха для обдува конденсатора.

2 Конденсатор - это радиатор, в котором происходит охлаждение и конденсация фреона, воздух, проходящий мимо конденсатора, нагревается и уходит в окружающую среду.

3 Компрессор осуществляет сжатие хладагента и поддерживает его движения по холодильному контуру.

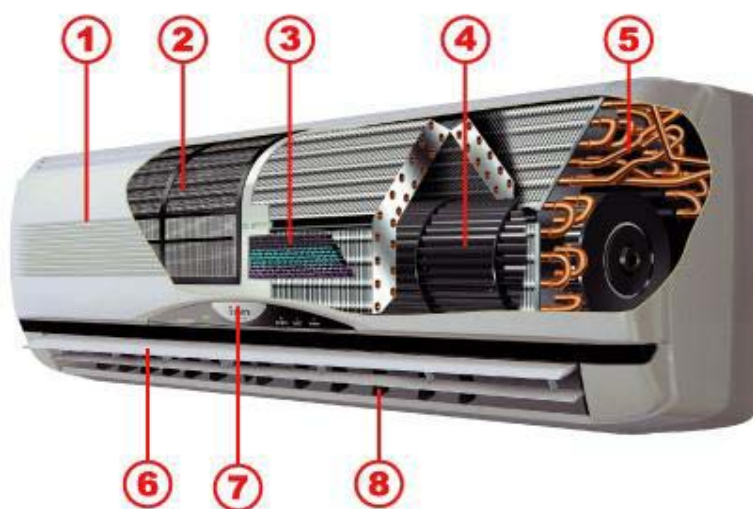
4 Плата управления устанавливается, как правило, в инверторных кондиционерах. В других моделях всю электронику стараются размещать во внутреннем блоке.

5 Четырехходовой клапан устанавливается в моделях с функцией обогрева. В режиме обогрева этот клапан изменяет направление движения фреона, при этом внутренний и наружный блоки как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный, на охлаждение.

6 Штуцерные соединения (на рисунке не видны) для подключения медных труб, соединяющих наружный и внутренний блоки.

7 Фильтр фреоновой системы устанавливается перед входом компрессора и защищает его от частиц грязи, которые могут попасть в систему при монтаже кондиционера.

8 Защитная крышка, которая закрывает штуцерные соединения и электрические разъемы.



**Рис.7.6** Внутренний блок кондиционера



Внутренний блок состоит из следующих основных узлов:

1 Передняя панель - пластиковая решетка, через которую внутрь блока поступает воздух. Панель легко снимается для обслуживания кондиционера (чистки фильтров и т.п.)

2 Фильтр грубой очистки, представляющий пластиковую сетку. Он предназначен для задержки крупной пыли, шерсти животных, тополиного пуха и т.п. Для нормальной работы кондиционера фильтр необходимо чистить не реже двух раз в месяц.

3 Система фильтров состоит из различных фильтров тонкой очистки среди которых обычно бывают: угольный (удаляет неприятные запахи), электростатический (задерживает мелкую пыль), антибактериальные и т.п.

4 Вентилятор, предназначенный для циркуляции очищенного и охлажденного или подогретого воздуха в помещении.

5 Испаритель - это радиатор (теплообменник), в котором происходит нагрев холодного хладагента и его испарение. Продуваемый через радиатор воздух, соответственно, охлаждается.

6 Горизонтальные жалюзи, предназначены для регулировки направления воздушного потока по вертикали. Эти жалюзи имеют электропривод и их положение может регулироваться с пульта дистанционного управления. Кроме этого, жалюзи могут автоматически совершать колебательные движения для равномерного распределения воздушного потока по помещению.

7 Индикаторная панель состоит из индикаторов (светодиодов), показывающих, в каком режиме работы кондиционера и сигнализирующие о возможных неисправностях.

8 Вертикальные жалюзи, которые регулируют направление воздушного потока по горизонтали.

9 Плата управления (на рисунке не показана), на которой размещен блок электроники с центральным микропроцессором.

10 Штуцерные соединения (на рисунке не показаны), расположены в нижней задней части внутреннего блока. К ним подключаются медные трубы, соединяющие наружный и внутренний блоки.

## Применение рециркуляции воздуха в СКВ

Чтобы избежать излишнего расхода энергии на нагрев и охлаждение воздуха, применяют **рециркуляцию** внутреннего воздуха. Рециркуляция воздуха – это повторное использование отработанного внутреннего воздуха. Рециркуляция производится в основном с целью экономии энергии в холодный и переходный и теплый периоды года.

Следует подчеркнуть, что рециркуляция не является обязательной. Существуют системы с переменным расходом воздуха, подающие только наружный воздух, требуемое количество которого определяется по сигналам датчика углекислого газа или влажности. Чаще всего это системы кондиционирования специальных помещений, позволяющие за счет охлаждения получить низкие температуры приточного воздуха в летний период, и тем самым существенно сократить требуемый воздухообмен по тепловым избыткам.

Для кондиционирования общественных зданий использование рециркуляции является **почти обязательным**. Рассмотрим основные соотношения.

При температуре внутреннего воздуха 25°C (летний режим) человек выделяет примерно 60 Вт явной теплоты и примерно 50 г/час влаги. Выделение полной теплоты составляет 95 Вт. Если пренебречь другими источниками теплоты, то значение углового коэффициента луча процесса в помещении будет

$$\varepsilon = 3600 \cdot 95 / 50 = 6840 \text{ кДж/кг}$$

Такое значение луча процесса говорит о том, что количества явного и скрытого тепла соизмеримы, однако явное тепло больше скрытого.

Примем разницу температур приточного и удаляемого воздуха 5°C. Тогда требуемый удельный воздухообмен на одного человека по явному теплу будет

$$G = 3,6 \cdot 60 / 5 = 42 \text{ кг/час}$$

Минимально требуемый воздухообмен на одного человека по санитарной норме равен 20 м<sup>3</sup>/час, или

$$G = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ кг/час}$$

Таким образом, **расчетный воздухообмен по тепловому периоду примерно в 2 раза больше минимально необходимого по наружному воздуху.**

Чтобы можно было подавать только наружный воздух, необходимо иметь разницу температур приточного и удаляемого воздуха 9-10 °С, что достижимо в теплый период только при использовании охлаждения наружного воздуха и требует системы кондиционирования.

Для холодного и переходного периодов расчетная температура составляет 18 – 20°С. При такой температуре один человек в состоянии покоя выделяет около 100 Вт явной теплоты и около 40 г/час влаги. Выделение полной теплоты составляет 120 Вт. При отсутствии других источников теплоты значение углового коэффициента луча процесса в помещении будет

$$\varepsilon = 3600 \cdot 120 / 40 = 108000 \text{ кДж/кг}$$

Такое значение луча процесса говорит о том, что в эти периоды количества явного тепла существенно больше скрытого, и луч процесса идет почти вертикально. Таким образом, в холодный период основной вредностью является явное тепло, а влагой можно пренебречь.

Учитывая низкую температуру наружного воздуха, можно существенно понизить и температуру приточного воздуха, однако слишком низкая температура при неудачном распределении воздуха может вызвать локальное переохлаждение отдельных зон помещения и ощущение холодного сквозняка у людей. Практика показывает, что в зрительных залах можно довести разницу температур приточного и удаляемого воздуха до 8 – 10°С. Тогда требуемый удельный воздухообмен на одного человека по явному теплу будет:

$$G = 3,6 \cdot 100 / 8 = 45 \text{ кг/час}; \quad G = 3,6 \cdot 100 / 10 = 36 \text{ кг/час}$$

Как видно, требуемый воздухообмен по тепловым избыткам имеет примерно то же значение, что и летом. Причиной этого является увеличение выделения явного тепла человеком при более низкой температуре внутреннего воздуха.

Минимально требуемый воздухообмен на одного человека по санитарной норме останется тем же – 24 кг/час.

Таким образом, даже для холодного и переходного периодов года трудно обеспечить работу только на наружном воздухе. Кроме того, снижение производительности системы допустимо только в том случае, если схема распределения воздуха позволяет при этом обеспечить необходимую подвижность в рабочей зоне.

Вышеприведенные соображения подводят нас к выводу о необходимости использования рециркуляции воздуха в большинстве зданий.

Для различных офисных и конторских помещений, в отличие от зрительных залов и им подобных помещений, характерно относительно небольшое количество людей. Поэтому требуемый воздухообмен по санитарной норме для таких помещений небольшой. А воздухообмен по явному теплу оказывается существенно больше, так как к тепловыделениям человека добавляются поступления тепла от компьютеров и освещения, а летом существенную долю составляют тепlopоступления от солнечной радиации, ввиду большой удельной площади остекления.

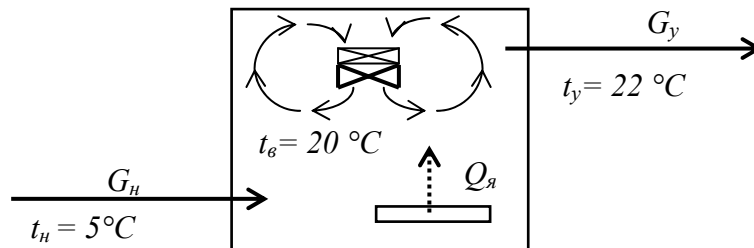
### **8.1 Схемы рециркуляции**

Рециркуляция представляет собой перемешивание внутреннего воздуха, при котором он условно поступает в помещение с той же концентрацией и температурой, с какой удалялся из помещения. Удалить вредности может только наружный воздух. Однако, если бы подавался только наружный воздух в том же количестве, то для удаления тепловых избытков его бы пришлось подавать с очень низкой температурой, что недопустимо для обеспечения комфорта людей. Подмешивание же внутреннего воздуха к наружному позволяет увеличить количество наружного воздуха, не затрачивая энергию на нагрев или охлаждение и подавая его в помещение с приемлемой температурой.

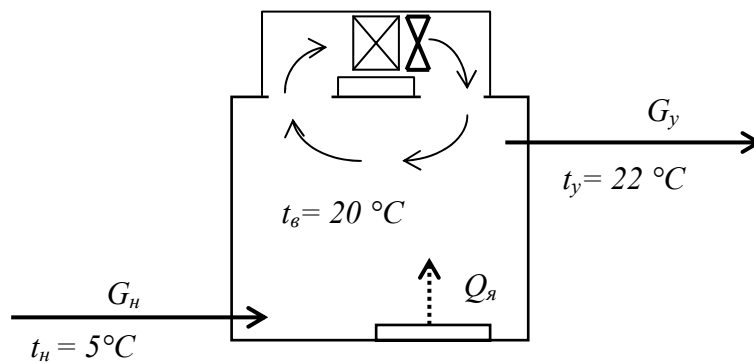
Так как угловой коэффициент луча процесса в помещении определяется только соотношением полного избыточного тепла и влаги, он не может измениться от того, есть рециркуляция или нет. **Рециркуляция не изменяет угловой коэффициент луча процесса в помещении.**

На рисунке 8.1 приведены различные варианты осуществления рециркуляции.

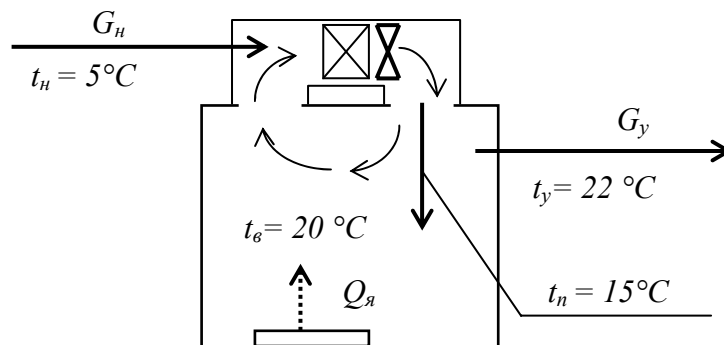
а) Схема с рециркуляцией воздуха непосредственно внутри помещения потолочным вентилятором



б) Схема с рециркуляцией воздуха через потолочный канал



в) Схема с рециркуляцией воздуха через потолочный канал и подмешиванием наружного воздуха



г) Схема с рециркуляцией через центральный кондиционер

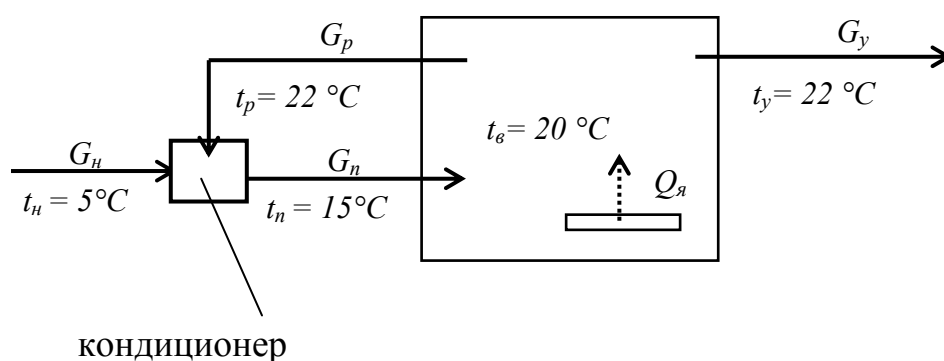


Рис. 8.1. Варианты рециркуляции воздуха

Рециркуляция потолочным вентилятором по схеме **а** осуществляется непосредственно в объеме помещения. Изменить параметры притока наружного воздуха она не может, если в конструкции нет теплообменника. Такая схема без теплообменника применяется в некоторых помещениях (магазины, кафе, административные помещения) только для увеличения подвижности в рабочей зоне. Собственно рециркуляцией этот вариант обычно и не считается. Температура притока наружного воздуха при этом очень низкая из-за необходимости подавить тепловые избытки в помещении.

Если же к вентилятору конструктивно присоединен теплообменник, то их совокупность, выполненная отдельным блоком, называется вентиляторным доводчиком, фанкойлом (от английских слов **fan** – вентилятор, и **coil** – змеевик, нагреватель). Теплообменник может обеспечивать охлаждение или нагрев воздуха для подавления тепловых избытков или недостатков в помещении, а наружный воздух подается без обработки или обрабатывается и подается отдельно со своими индивидуальными параметрами. В кондиционировании системы с фанкойлами используются достаточно широко.

Рециркуляция через потолочный канал по схеме **б** осуществляется чаще. Ее преимуществом является **небольшая длина воздуховодов**. В канале часто устанавливается теплообменник для нагрева или охлаждения воздуха, а также вентилятор для побуждения движения воздуха. Такая схема типична для кон-

диционеров с канальным внутренним блоком. Изменить параметры притока она тоже не может, так как рециркуляционный воздух циркулирует отдельно от приточного. Такая схема широко применяется в помещениях малого и среднего объема. Выбрав правильно количество рециркулирующего воздуха, можно обеспечить требуемую его температуру при выпуске в помещение.

Температура притока наружного воздуха при этом варианте также очень низкая из-за необходимости подавить тепловые избытки в помещении только наружным воздухом, если нет теплообменника в рециркуляционном воздуховоде. Если же он есть, то он обеспечивает охлаждение рециркулирующего воздуха для подавления тепловых избытков, а наружный воздух подается без обработки или обрабатывается и подается отдельно со своими индивидуальными параметрами.

Обычно конструкция фанкойлов и внутренних блоков кондиционеров предусматривает возможность подмешивания части наружного воздуха, и тогда получается схема **в**. Ее преимуществом является то, что воздух подается в помещение через одну систему воздухораспределителей, и его температура на притоке соответствует требованиям норм. Такие схемы нашли широкое распространение в установках кондиционирования воздуха.

Для больших помещений, типа зрительных залов, системы с фанкойлами не применяются, так как это относительно простые установки, не имеющие специальной камеры смешивания, клапанов, устройств утилизации теплоты и автоматики. Кроме того, мощности фанкойлов ограничены и часто недостаточны для обслуживания очень крупных помещений. Их вентиляторы развивают небольшие давления, что позволяет получить более низкий уровень шума, однако не позволяет преодолевать сопротивление протяженных воздуховодов и дополнительных устройств.

Поэтому вентиляцию таких помещений осуществляют, как правило, при помощи достаточно крупных центральных установок, которые могут включать любой состав оборудования. Рециркуляцию при этом осуществляют через основную установку по схеме **г**. Это позволяет очень гибко управлять установ-

кой и обеспечивать наиболее экономичные режимы эксплуатации, управляя в оптимальном режиме всеми устройствами.

Во всех системах для регулирования степени рециркуляции (доли рециркуляционного воздуха по отношению к общему количеству приточного воздуха) на рециркуляционном воздуховоде устанавливается регулирующий клапан.

В некоторых ситуациях при соответствующем обосновании могут применяться и другие принципиальные схемы систем вентиляции. В частности, за рубежом распространены системы с **переменным расходом** приточного воздуха, что позволяет вообще отказаться от рециркуляции воздуха в холодный период, подавая только наружный воздух. Как правило, такие системы используют схему рассредоточенной подачи воздуха в нижнюю зону помещения, что позволяет избежать перемешивания воздуха по высоте помещения и более эффективно вентилировать нижнюю рабочую зону, где находятся люди.

## Лекция 9

### Центральные системы кондиционирования воздуха

Центральными называются СКВ, обслуживающие несколько помещений из одного центра, внешнего по отношению к обслуживаемым помещениям. Такие системы снабжаются извне холодом (доставляемым холодной водой или хладагентом), теплом (доставляемым горячей водой, паром или электричеством) и электрической энергией для привода электродвигателей вентиляторов, насосов.

Центральные системы кондиционирования воздуха расположены вне обслуживаемых помещений и кондиционируют одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. Иногда несколько центральных кондиционеров обслуживают одно помещение больших размеров (производственный цех, театральный зал, закрытый стадион или каток). Приготовленный в центральном кондиционере воздух подается в обслуживаемые помещения по сети воздуховодов. Центральные СКВ получили наи-



большее распространение для помещений значительных размеров в промышленных и общественных зданиях.

По степени использования наружного воздуха центральные СКВ подразделяют на приточные, рециркуляционные и с частичной рециркуляцией. В приточных СКВ используется только наружный воздух. Эти системы забирают наружный воздух, обрабатывают его до необходимых параметров и подают в обслуживаемые помещения. Из помещений воздух удаляется системами вытяжной вентиляции.

Приточные СКВ применяют для помещений, в которых выделяются токсичные пары и газы, пыль и содержатся болезнетворные микроорганизмы, исключающие повторное использование удаляемого из помещения воздуха. Такие же системы применяют для помещений, в воздухе которых содержатся резко выраженные неприятные запахи, а также для помещений с выделениями взрывоопасных и пожароопасных веществ.

В рециркуляционных (замкнутых) СКВ многократно используется один и тот же воздух, который забирается из помещения, подвергается в кондиционере необходимой обработке и снова подается в помещение. Таким образом осуществляется полная рециркуляция воздуха. Рециркуляционные системы применяют для помещений, в которых образуются только тепло- и влагонизбытки, и в которых отсутствуют выделения вредных паров, газов и пыли. Если в воздух помещений поступают вредные пары, газы и пыль, то применять СКВ с полной рециркуляцией можно лишь при включении в комплект устройств по обработке воздуха, специальных аппаратов для очистки воздуха от вредных примесей, что весьма усложняет системы и обычно экономически нецелесообразно. К такому решению прибегают тогда, когда нельзя использовать наружный воздух. В СКВ с полной рециркуляцией осуществляются только очистка воздуха от пыли и тепловлажностная обработка, поэтому такие СКВ применяют для кондиционирования воздуха в помещениях, в которых требуется поддержание температурно-влажностных параметров воздуха, а потребность в наружном воздухе отсут-

вует или удовлетворяется другими системами. К числу таких помещений относятся многие технологические помещения с тепловыделяющим оборудованием.

Наиболее распространенной является СКВ с частичной рециркуляцией, в которой используется смесь наружного и рециркуляционного воздуха. Такие системы применяют при условии, что воздух, используемый для рециркуляции, не содержит токсичных паров и газов, а расчетное количество вентиляционного воздуха для удаления избытков теплоты и влаги превышает количество наружного воздуха, которое должно подаваться в помещение для ассимиляции вредных паров и газов. Кроме того, использование рециркуляционного воздуха должно приближать температурно-влажностные параметры наружного воздуха к требуемым параметрам приточного воздуха. СКВ с частичной рециркуляцией обычно предусматривается с подачей в помещения переменных объемов наружного и рециркуляционного воздуха в зависимости от параметров наружного воздуха. Однако количество наружного воздуха в смеси, подаваемой в помещение СКВ с частичной рециркуляцией, должно быть не меньше санитарной нормы.

СКВ с частичной рециркуляцией являются наиболее гибкими: в зависимости от условий и состояния наружного воздуха они могут работать по прямой схеме и по схеме с частичной или полной рециркуляцией. В последнем случае при необходимости газовый состав воздуха по кислороду и углекислому газу в помещениях поддерживается иными средствами.

В системах с частичной рециркуляцией рециркуляционный воздух смешивается с наружным до или после камеры орошения. В первом случае система называется СКВ с первой рециркуляцией, во втором - СКВ со второй рециркуляцией. Применение первой рециркуляции позволяет уменьшить расход теплоты на нагрев наружного воздуха в холодное время года и расход холода на охлаждение воздуха в теплое время.

В промышленных и общественных зданиях имеются помещения значительных размеров, в которых выделяются различные вредности (тепло, влага, пары и газы). Интенсивность выделений неодинаково изменяется по площади и

по времени. По условиям назначения этих помещений их нельзя разделить перегородками или изолировать по воздуху отдельные участки. Поэтому такие помещения приходится разбивать на условные зоны, в каждой из которых характер формирования теплового режима примерно одинаков и возможно поддержание одинаковой температуры путём управления температурой приточного воздуха в эту зону. При выборе рационального типа СКВ для таких зданий могут рассматриваться такие возможные принципиальные решения: В больших помещениях с равномерным распределением по площади и однородным характером изменения тепло- и влагоизбытков (залы театров, кинотеатров, спортивные залы и т.п.) применяются однозональные центральные СКВ. В каждой зоне помещения предусматривают самостоятельную однозональную СКВ. Вследствие равномерности и однородности тепловых режимов поддержание температуры внутреннего воздуха достигается автоматическим регулированием температуры приточного воздуха, подаваемого во все помещения. Как правило, для круглогодичной работы СКВ расчётные параметры внутреннего воздуха задаются различными для теплого и холодного периодов года.

Одноканальные системы кондиционирования воздуха относят к системам с качественным регулированием.

Существуют и двухканальные СКВ, в которых воздух двух различных состояний подается в помещения по двум самостоятельным каналам. Требуемые параметры приточного воздуха достигаются смешением воздуха перед подачей в помещение. Их относят к системам с количественным регулированием. Двухканальные системы используются очень редко из-за сложности регулирования, хотя они и обладают некоторыми преимуществами, в частности, отсутствием в обслуживаемых помещениях теплообменников, трубопроводов теплохолодоносителя, возможностью совместной работы с системой отопления что особенно важно для существующих зданий, системы отопления которых при устройстве двухканальных систем могут быть сохранены. Недостатком таких систем являются повышенные затраты на тепловую изоляцию параллельных воздухопроводов, подводимых к каждому обслуживаемому помещению. Если тре-

буется подавать в помещения воздух с различными параметрами, то применяют многозональные центральные СКВ. Для обслуживания всего помещения применяют одну центральную приточную или рециркуляционную СКВ. Изменение параметров приточного воздуха осуществляется по контролю внутренних параметров воздуха в каждой зоне. В многозональных СКВ приточный воздух доводится в центральном кондиционере до определенных параметров, по воздуховодам подается к помещениям (зонам), а перед выдачей в помещения подвергается дополнительной обработке в тепломассообменных аппаратах. В местных доводчиках воздух доводится до параметров, требуемых для каждого помещения.

Применение многозональных СКВ более экономично, чем устройство индивидуальных систем для каждого из обслуживаемых помещений. Однако эти системы могут поддерживать с заданной точностью только один из параметров воздуха: температуру или относительную влажность. Многозональные СКВ, применяемые для общественных зданий, обычно поддерживают температуру воздуха на заданном уровне, допуская отклонения относительной влажности от расчетных значений.

### **9.1 Кондиционеры для центральных СКВ**



Рис. 9.1 Общий вид центрального кондиционера

В состав центрального секционного кондиционера в общем случае входят рабочие секции (воздушный фильтр, воздухонагреватели первого и второго подогрева, воздухоохладители и камеры орошения, воздушные клапаны), а также камеры и секции корпуса кондиционера, необходимые для сборки и обслуживания рабочих секций (камеры присоединительные, смесительные, секции пово-

ротные и др.). Наружный воздух из воздухозаборного устройства поступает через открытый утепленный клапан в смесительную камеру. Как правило, клапан имеет пневматический или электрический привод, который через систему автоматического управления включается в схему электродвигателя вентилятора. При пуске вентилятора в работу привод открывает створки клапана а при остановке - закрывает. Через регулирующий клапан поступает в смесительную камеру рециркуляционный воздух. Рециркуляционный и наружный воздух перемешивается в смесительной камере, получившаяся смесь воздуха проходит далее через воздушный фильтр, предназначенный для очистки воздуха от пыли. Доступ для ревизии и обслуживания фильтра осуществляется через дверки в воздушных камерах.

Из фильтра через воздушную камеру воздух поступает в теплообменники секции первого подогрева, в которых при необходимости воздух нагревается до требуемой температуры. Нагрев воздуха регулируется изменением температуры и расхода горячей воды, поступающей в теплообменники. Если в кондиционере используют теплообменники, обогреваемые паром, то здесь предусмотрен обводной канал, расход воздуха через который регулируется секционным клапаном.

Из секции первого подогрева через воздушную камеру воздух поступает в камеру орошения, в которой подвергается увлажнению, осушке, охлаждению. Иногда вместо камеры орошения используют поверхностные воздухоохладители или другие устройства, способные охладить воздух и изменять его влагосодержание. Далее воздух через воздушную камеру поступает к теплообменникам секции второго подогрева. К фланцам последней по ходу воздуха воздушной камеры присоединяется переходная секция, посредством которой воздушный тракт секций соединяется с всасывающим патрубком вентилятора. Для обеспечения горизонтальной связки и установки секций и камер служат опоры. Нагревательное отверстие вентилятора соединяется с приточным воздуховодом, по которому подготовленный в кондиционере воздух подается в помещения непосредственно или через местные доводчики.

## **9.2 Крышные кондиционеры (roof-top) и особенности их применения**

Крышные кондиционеры имеют мощность от 8 до 140 кВт и расход воздуха от 1500 до 25000 м<sup>3</sup>/ч. Благодаря моноблочной конструкции эти кондиционеры отличаются простотой монтажа и обслуживания. По своим характеристикам и области применения крышные кондиционеры близки к центральным кондиционерам. Принципиальное отличие между ними в том, что крышный кондиционер является моноблоком и устанавливается на крыше, а центральный кондиционер устанавливается в помещении, но ему необходим внешний источник холода.

Кондиционеры поставляются в полностью собранном, укомплектованном виде. Они заправлены хладагентом и проверены перед отправкой на завод-изготовителе. Благодаря тому, что подача и вытяжка обрабатываемого воздуха осуществляются по воздуховодам, можно добиться оптимального воздухораспределения. Использование моноблочных кондиционеров позволяет полностью сохранить интерьеры помещений.

В отличие от системы чиллер-фанкойл и мультizonальной системы, крышный кондиционер имеет возможность производить не только кондиционирование, но и вентиляцию помещения, при этом для смешения воздуха используется специальная смесительная камера, в которой происходит регулирование соотношения внутреннего и наружного воздуха. В то же время, себестоимость крышного кондиционера по сравнению с вышеназванными промышленными системами довольно невелика.

В то же время у крышного кондиционера есть ряд недостатков, к которым следует отнести достаточно высокую степень энергопотребления, которое достигает порядка 80 Вт/кв.м. Еще один недостаток крышного кондиционера - это необходимость наличия обслуживающего персонала. При этом отсутствует возможность управлять режимом работы крышного кондиционера индивидуально для каждого помещения, все режимы и настройки по работе такого кондиционера задаются централизованно.

Кроме того, для установки крышного кондиционера требуется место на крыше здания, что далеко не всегда может согласовываться с архитектурным решением. Еще одним важным моментом в случае использования крышных кондиционеров является необходимость прокладки магистральных воздуховодов, при этом используются воздуховоды большого сечения. Таким образом, стоимость установки кондиционера крышного типа оказывается довольно высокой, что также относится к недостаткам таких кондиционеров.

Как правило, крышные кондиционеры используются для обслуживания таких архитектурных объектов, как театры, большие спортивные и торговые комплексы, концертные залы, кафе, рестораны, крытые стадионы.

Как и все кондиционеры, крышный кондиционер содержит стандартный набор узлов и агрегатов, а именно: конденсатор, компрессор, испаритель, вентиляторы. Кроме того, в комплектацию может входить смесительная камера, в которой осуществляется смешение рециркуляционного воздуха (забираемого непосредственно из помещения) и внешнего воздуха с улицы, а также электрический либо водяной калорифер, служащий для нагрева воздуха в холодное время года.

Свежий воздух забирается с улицы через заборную решетку крышного кондиционера. Рециркуляционный воздух забирается из помещения по системе воздуховодов и подается в смесительную камеру, где смешивается со свежим воздухом. Необходимое соотношение свежего и рециркуляционного воздуха обеспечивается изменением положения заслонок.

Автономный крышный кондиционер установлен на кровле одноэтажного здания магазина. Кондиционер работает на смеси наружного и рециркуляционного воздуха. Необходимое количество наружного воздуха поступает в смесительную камеру, где перемешивается с воздухом, забираемым из помещения.

Общее количество воздуха проходит через фреоновый воздухоохладитель и поступает в помещение через систему воздуховодов и воздухораспределителей. Удаление вытяжного воздуха осуществляется системой естественной вытяжной вентиляции через крышный дефлектор.



Рис.9.2 Применение крышного кондиционера

В кондиционерах малой мощности может отсутствовать смесительная камера с жалюзийными заслонками, поэтому смешение в этом случае необходимо выполнять в подводящем воздуховоде.

Из смесительной камеры воздух проходит через фильтр и подается к теплообменнику (испарителю или конденсатору) холодильной машины, где он охлаждается или нагревается (в кондиционерах с тепловым насосом). Для подогрева воздуха в кондиционер может использоваться дополнительный электрический или водяной нагреватель.

После теплообменников воздух с требуемой температурой подается центробежным вентилятором в систему распределительных воздуховодов.

Воздух для охлаждения конденсатора холодильного цикла забирается из атмосферы специальным вентилятором, также входящим в конструкцию кондиционера, и затем выбрасывается на улицу.

### **Газовый нагрев**

Функция газового нагрева, используемая в крышных кондиционерах, позволяет подогревать воздух и подавать его в отапливаемое помещение на протяжении и переходного, и холодного периодов года. Кроме этого применение функции газового нагрева в крышном кондиционере значительно уменьшает



нагрузку на тепловой пункт здания и соответственно значительно уменьшает требуемую мощность котла.

Более того, при нагреве воздуха в помещении с помощью газовой горелки установленной непосредственно в крышном кондиционере уменьшаются потери, и увеличивается КПД системы за счет того, что пропадает промежуточное звено (система горячей воды) между природным газом и подогретым воздухом.

Термостат контроля пламени газовой горелки, исключает возможность выхода из строя агрегатов крышного кондиционера при работе на обогрев.

Крышные кондиционеры характеризуются широким диапазоном мощностей - от 8 до 140 кВт по холоду и теплу, и соответствующими расходами воздуха от 1500 до 25000 м<sup>3</sup>/ч.

### **9.3 Центральные СКВ на базе чиллера и фанкойлов.**

В данной системе кондиционирования источником холодоснабжения является чиллер, установленный на крыше. Местные неавтономные кондиционеры-доводчики (фанкойлы) напольной установки обеспечивают оптимальные температурные условия в помещениях.

Система "чиллер-фанкойлы" отличается от других СКВ тем, что между наружным блоком (чиллером) и внутренними блоками (фанкойлами) циркулирует не фреон, а вода или незамерзающая жидкость.

Фанкойлы включают в себя два теплообменника и подключены по четырехтрубной схеме, что позволяет использовать их в зимнее время как приборы центрального отопления. Четырехтрубная установка предполагает круглогодичное использование фанкойла. В период охлаждения в основной теплообменник поступает холодная вода из чиллера, в межсезонье теплая вода также поступает от чиллера, работающего в режиме теплового насоса. В отопительный (зимний) сезон через дополнительный теплообменник циркулирует горячая вода (с температурой теплоносителя 70-95 градусов) от системы центрального отопления. Воздухообмен осуществляется за счет естественной вытяжной вентиляции.

Чиллер снабжает холодной водой фанкойлы многоэтажного здания. Го-

рячая вода поступает в систему из городской теплосети через индивидуальный тепловой пункт в подвале. Такой вариант установки является наиболее дешевым, поскольку не требуется места в здании или во дворе. При этом выбрана установка с малошумными осевыми вентиляторами, чтобы их шум не проникал в обслуживаемое и рядом стоящие здания.

Насосная станция, обеспечивающая циркуляцию воды в системе "чиллер-фанкойлы", также устанавливается на крыше.

Преимущества системы "чиллер-фанкойлы":

- расстояние между чиллером и фанкойлами может достигать нескольких сотен метров и определяется мощностью насосной станции;
- для соединения чиллера с фанкойлами используются обычные водопроводные трубы (часто пластиковые), а не дорогие медные фреоновые коммуникации;
- каждый фанкойл может поддерживать свою заданную температуру в помещении.

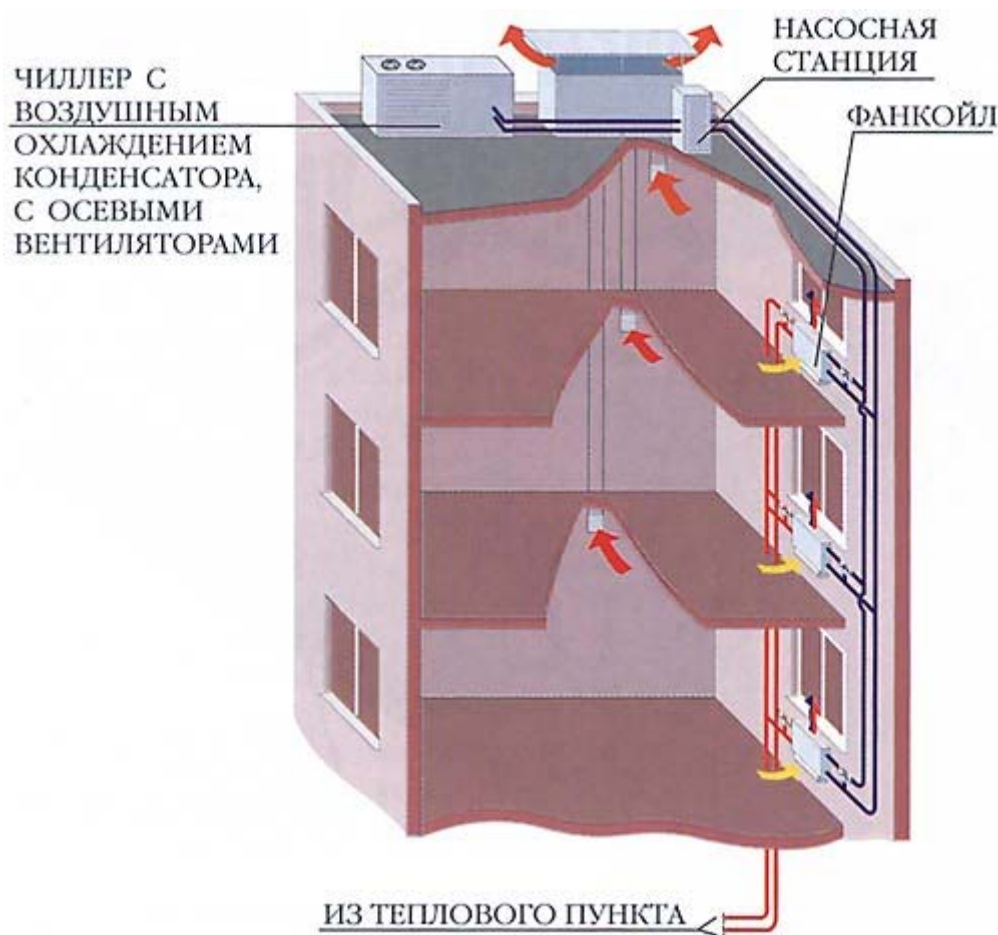


Рис. 9.3 Применение чиллеров и фанкойлов

Представленная система кондиционирования широко применяется, как правило, при строительстве или реконструкции здания целиком или хотя бы отдельного этажа в гостиницах, офисах, медицинских учреждениях и школах.

### **Преимущества центральных СКВ.**

Центральные СКВ характеризуются:

Простотой монтажа и установки.

Компактностью.

Высокой надежностью и экономичностью в эксплуатации.

Единой системой автоматики, позволяющей при задании необходимой температуры в помещении, автоматически выбирать режимы работы.

Работой с низкими шумовыми характеристиками.

### **Недостатки центральных СКВ.**

Крупные габариты и трудоемкость строительно-монтажных работ по установке кондиционеров, прокладке воздухопроводов и трубопроводов.

Трудности применения центральных СКВ в существующих и реконструируемых зданиях.

Менее гибкое регулирование температуры и влажности в отдельных помещениях.

Лекция 10

## **Многозональные СКВ. VRF-системы**

Для современных зданий характерно многокомнатное расположение помещений, неравномерное распределение их по площади, а также различная интенсивность изменений тепло - и влаговывделений. При разработке системы кондиционирования воздуха таких объектов необходимо предусмотреть возможность одновременного обеспечения требуемых параметров внутреннего воздуха в нескольких зонах помещения. Для этих целей в каждой обслуживаемой зоне помещения предусматривают соответствующие устройства, обеспечи-

вающие тепловую обработку приточного воздуха в соответствии с особенностями изменения контролируемого параметра внутреннего воздуха в зоне.

Для зданий, где имеется много небольших помещений, и в каждом из которых нужно поддерживать свои климатические параметры, идеально подходят многозональные системы. Такие системы построены по принципу конструктора: в зависимости от требуемой производительности и пожеланий заказчика выбирают определенные виды наружных и внутренних блоков. Особенностью этого вида кондиционеров является то, что их монтаж может быть произведен в реконструируемых зданиях, а при необходимости даже после завершения строительных работ. Мультисплит-системы обеспечивают больший комфорт и независимость для пользователя по сравнению с другими. Суммарная длина магистрали в мультизональной системе может составлять до 400 м, а перепад высот до 50 м.

### **10.1 VRF системы**

Аббревиатура VRF – составлена из заглавных букв Variable Refrigerant Flow и в переводе с английского означает «переменный расход холодильного агента». Основное отличие VRF-систем от, ставших классическими, сплит-систем заключается в реализации принципа многозональности, то есть, перераспределение хладагента между внутренними блоками по мере необходимости. В таких кондиционерах к наружному блоку (компрессорно-конденсаторному агрегату) с помощью медных трубопроводов может быть подсоединено до 32 внутренних блоков. Все внутренние блоки могут работать и управляться независимо друг от друга.

Разработанные в качестве альтернативы традиционным центральным системам кондиционирования, VRF-системы имеют ряд преимуществ:

- возможность создавать индивидуальные параметры микроклимата в каждом помещении;
- отсутствие необходимости в постоянном обслуживании;
- широкие возможности в части выбора метода управления;

+/- энергоэффективность системы за счет использования инверторного способа регулирования работы компрессора;

- экономия на воздуховодах;

- отсутствие необходимости в помещениях для размещения оборудования.

Производительность внутренних блоков в многозональных системах регулируется за счет изменения потока хладагента через теплообменник. В свою очередь, поток регулируется электронным расширительным клапаном, который установлен во внутренних блоках. Одновременно меняется производительность компрессора.

Компрессор современной VRF-системы оснащен инверторным приводом, который позволяет плавно менять скорость вращения компрессора и соответственно его производительность. Блок инвертора в таких кондиционерах преобразует переменное напряжения питания в постоянное (этот процесс называется инвертирование), что позволяет плавно изменять частоту оборотов компрессора и тем самым регулировать мощность кондиционера. В процессе работы инверторного кондиционера не возникает постоянных циклов включения и отключения компрессора, поэтому инверторные блоки более точно поддерживает заданную температуру

Важным достоинством VRF-системы является разнообразие внутренних блоков. Они могут быть настенными, кассетными, канальными, подпотолочными, напольными, что дает возможность эффективно охлаждать помещения любой планировки, не вторгаясь в существующие интерьеры.

VRF-системы долговечны и экономичны. Они рассчитаны на эксплуатацию в течение 20-25 лет.

## **10.2 Подбор оборудования СКВ**

В состав многозональной мультисплит - системы входит один наружный блок и внутренние блоки различных типов установки и различной мощности.

Внутренние блоки подбираются исходя из расчетного значения теплопритоков, ограничений по длине трассы, места установки, интерьера помеще-

ний. Подбор оборудования может быть сделан вручную или с помощью компьютерной программы.

Подобрать внутренний блок это означает определить :

- тип блока (настенный, кассетный, канальный, подвесной, напольный);
- модель блока (согласовываем холодопроизводительность с теплопотуплениями);
- выбрать место расположения блока.

На правильный выбор внутреннего блока влияет общее архитектурное решение помещения. Модель блока выбирается обязательно с учетом заданных температуры и влажности воздуха в помещении. Самыми распространенными являются такие виды блоков:

1. Настенный
2. Кассетный
3. Канальный

### 10.3 Настенные внутренние блоки

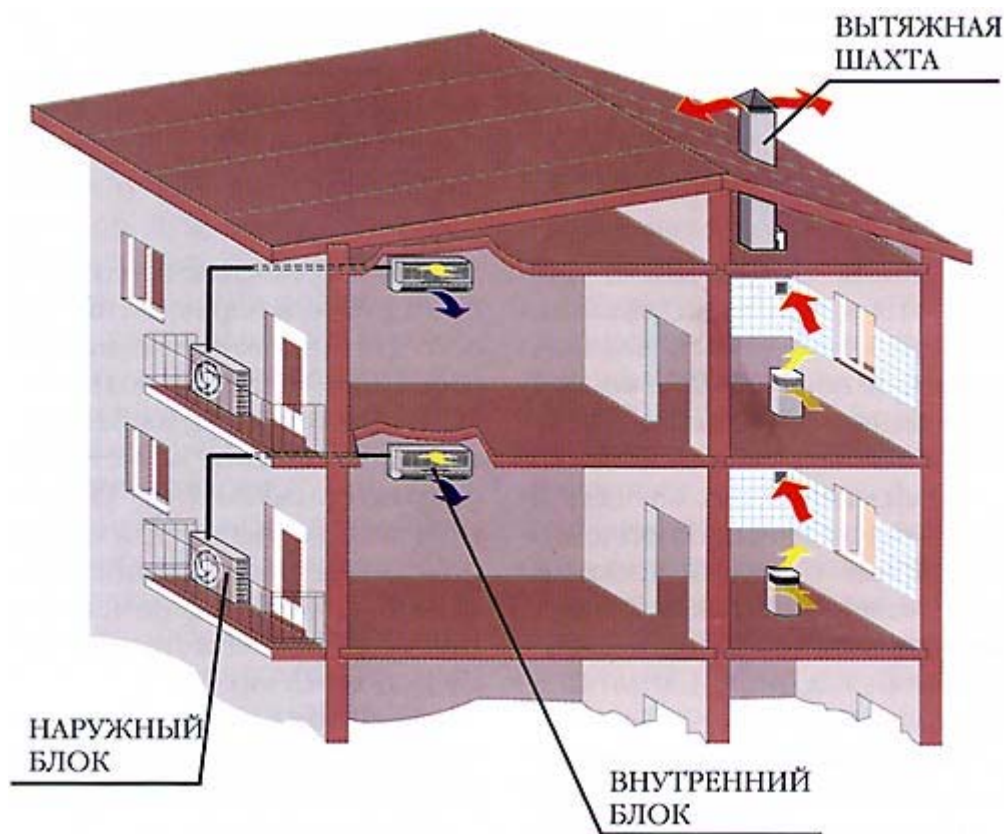


Рис. 10.1 Пример сплит-системы настенного типа

Настенный внутренний блок кондиционера самый распространенный и наиболее привычный тип блока, поскольку именно они чаще всего применяются в квартирах. Блок устанавливают в верхней части стены. Уровень шума внутренних блоков настенного типа фирмы на сегодняшний день является самым низким. – 26 дБ. Это значение находится за порогом слышимости для большинства людей.

Благодаря мощному вентилятору и специально подобранной режиму работы, жалюзи настенных блоков кондиционеров обеспечивают равномерное распределение охлажденного или нагретого воздуха в помещении. Угол подачи воздуха в горизонтальной плоскости составляет  $150^\circ$ , длина воздушной струи достигает 12 метров.

Внутренние блоки системы VRF оснащены уникальными фильтрами, которые позволяют нейтрализовать антиоксиданты, опасные для здоровья людей. Воздушный фильтр имеет специальное каталитическое покрытие, выполняющее антиоксидантную функцию. Дополнительный фильтр тонкой очистки – электростатический фильтр эффективно очищает воздух от частиц пыли размером 1 микрон.

#### **10.4 Кассетные внутренние блоки**

Внутренние блоки кассетного типа встраиваются в подвесной потолок. Нижняя часть такого блока имеет размер стандартный потолочной плитки — 600 x 600 мм и закрывается декоративной решеткой с распределительными жалюзи. Охлажденный воздух распределяется через нижнюю часть блока.

Основное достоинство кассетного кондиционера — незаметность, поскольку видна только декоративная решетка. Еще одно его преимущество — равномерное распределение воздушного потока по четырем направлениям, что позволяет использовать всего один блок для охлаждения большого помещения (при использовании настенных блоков для достижения аналогичного эффекта пришлось бы использовать 2 – 3 кондиционера меньшей мощности).

В кассетных блоках VRF-системы не все 4 жалюзи связаны друг с другом (либо одновременно двигаются, либо открыты под одинаковым углом). Каждый

имеет собственный привод, что позволяет зафиксировать их в определенном положении, исходя из конфигурации помещения и размещения людей. При выключении кондиционера все жалюзи автоматически закрываются.

Из-за контакта комнатного воздуха с холодными жалюзи декоративной решетки, на жалюзи может образовываться конденсат. Чтобы этого избежать, их покрывают ворсом. В кассетных блоках внутри жалюзи установлен нагреватель, который препятствует образованию конденсата.

### **10.5 Канальные внутренние блоки**

Канальные внутренние блоки устанавливаются за подвесным или подшивным потолком, который полностью скрывает этот блок. Они имеют более простую конструкцию, так как к ним не предъявляются особые требования дизайна. Видимыми остаются только декоративные решетки, по которым раздается по помещению.

К недостаткам канальных кондиционеров относится невозможность поддержания в каждом помещении индивидуальной температуры. Приточный воздух подается в количестве не более 15 % от общего воздухообмена, а зимой возможно обмерзание испарителя и выпадение конденсата.

К достоинствам канальных кондиционеров относятся низкая стоимость, возможность подачи наружного воздуха, возможность полностью скрыть внутренний блок за строительными конструкциями.

Распределение охлажденного воздуха осуществляется по системе теплоизолированных воздуховодов, которые также размещаются в межпотолочном пространстве. Забирается воздух также через декоративные решетки, проходит внутренний блок и системой воздуховодов снова подается в помещения через распределительные решетки.

Блок имеет вентилятор с мощным статическим напором, позволяющим преодолеть сопротивление распределительных воздуховодов и решеток.

Благодаря такой конструкции, канальный кондиционер может охлаждать сразу несколько помещений. Принципиальное отличие канального блока от ос-



тальных — в возможности подмешивания свежего воздуха в объемах, необходимых для полноценной вентиляции кондиционируемых помещений. Таким образом, использование канального блока позволяет обеспечить вентиляцию и кондиционирование помещения.

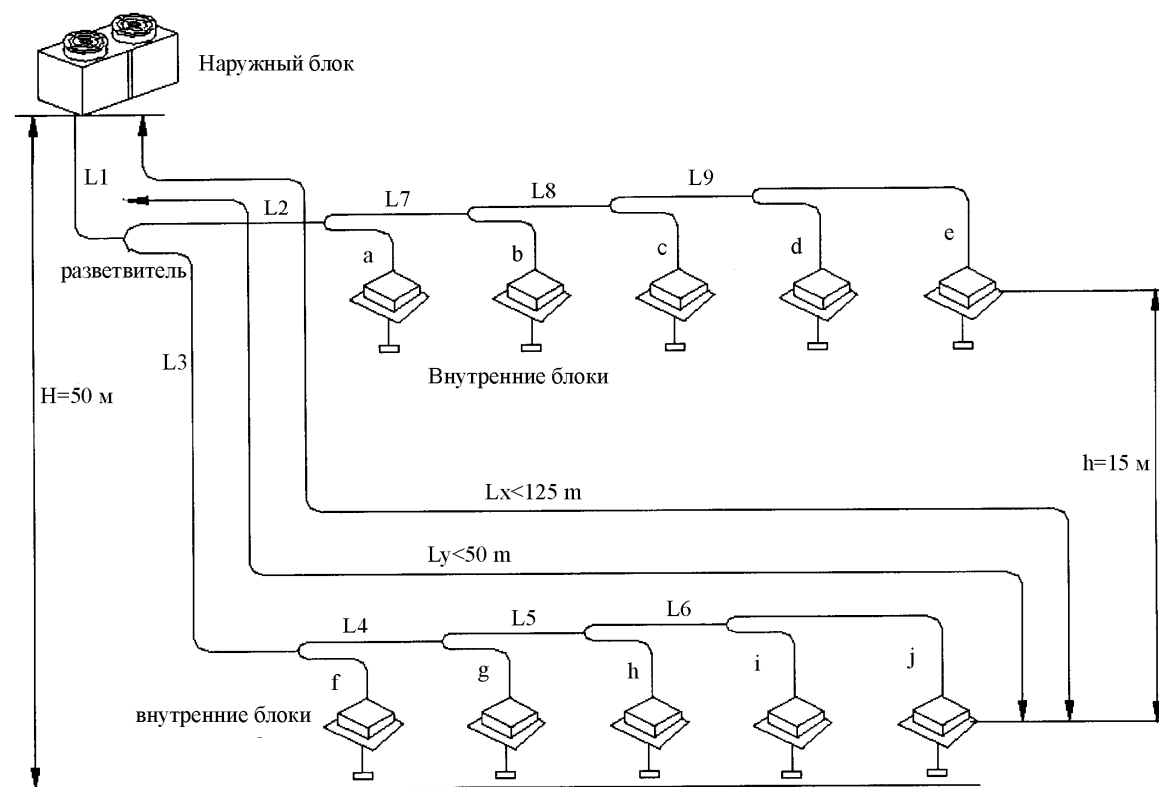


Рис. 10.1 Схема межблочной фреоновой трассы

$H$  — максимальный перепад высот между внутренним и наружным блоком;

$h$  — максимальный перепад высот между внутренними блоками

$L_x$  — максимальная эквивалентная длина трассы от наружного блока до наиболее удаленного внутреннего блока

$L_y$  — максимальная эквивалентная длина трассы от первого разветвителя до наиболее удаленного внутреннего блока.

Соединительные трубы фреоновой магистрали должны быть бесшовные и изготовлены из меди. Диаметры соединительных труб выбирают в зависимости от производительности внутреннего блока либо индексов производительностей в случае разветвления магистрали. Пайку труб системы производят в среде защитного газа – азота.

Лекция 11

## **Определение основных вредных выделений в помещениях**

Целью систем кондиционирования воздуха является создание комфортных условий для пребывания людей в помещениях. На тепловой комфорт человека влияют температурно-влажностные условия в помещении и подвижность воздуха, а на процессы дыхания, обмена веществ и другие функции организма – газовый состав воздуха, то есть наличие в воздухе вредных веществ, изменяющих нормальное функционирование различных подсистем организма.

### **11.1 Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека**

В помещения жилых и общественных зданий поступают следующие вредности: а) углекислый газ; б) выделения тепла; в) выделения влаги. Поступление других вредностей наблюдается в производственных зданиях, так как связано с протеканием какого-либо технологического процесса.

Углекислый газ выделяется в воздух помещений при дыхании людей. Следует отметить, что углекислый газ в небольших концентрациях не является ядовитым и вредным для человека. Только при высоких концентрациях  $\text{CO}_2$  наблюдается его негативное воздействие на организм человека. Однако причиной его образования в общественных зданиях является дыхание людей, при котором из воздуха помещения потребляется кислород. Поэтому наличие углекислого газа является свидетельством понижения концентрации кислорода, что негативно сказывается на самочувствии человека. Именно поэтому углекислый

газ относят к вредным выделениям, и для него существуют предельно допустимые концентрации.

**Таблица 11.1 Влияние концентраций углекислый газ на человеческий организм**

Концентрация CO <sub>2</sub>		Результат воздействия CO <sub>2</sub>
% по объему	л/м <sup>3</sup>	
1-2	10-20	При непрерывном воздействии нарушается электролитический баланс в теле человека
2	20	После нескольких часов воздействия появляется слабая головная боль и одышка
3	30	Сильная головная боль, обильное выделение пота, одышка
5	50	Депрессивное состояние
6	60	Ухудшается зрение, появляется озноб
10	100	Потеря сознания

Выделяющееся в помещении тепло влияет на тепловой комфорт человека. С точки зрения теплотехники тело человека представляет нагретое тело с внутренними источниками теплоты, температура которого должна поддерживаться на постоянном уровне 36,6°. Теплота от тела может отводиться следующими путями:

- а) за счет теплоотдачи с поверхности ввиду наличия разности температур тела и окружающего воздуха;
- б) за счет передачи явной и скрытой теплоты с выдыхаемым воздухом;
- в) за счет скрытой теплоты, затрачиваемой на испарение влаги с поверхности кожи.

Передача теплоты тем или иным путем зависит от параметров воздуха в помещении, средней радиационной температуры окружающих поверхностей.

Явное тепло с поверхности тела передается за счет конвективного и лучистого теплообмена. Когда температура окружающего воздуха низкая, то теплоотдача конвекцией идет интенсивно, и существенно снижается с понижением температуры. Когда температура внутреннего воздуха становится равной температуре тела, теплоотдача конвекцией равна 0. Можно считать, что теплоотдача конвекцией пропорциональна разнице температур тела человека и окружающего воздуха. Кроме того, теплоотдача конвекцией с поверхности кожи сильно зависит от подвижности воздуха в помещении. Наличие застойных зон с низкой подвижностью воздуха ухудшает теплоотдачу конвекцией и, кроме того, способствует локальному повышению в этих зонах концентрации вредных веществ. Теплоотдача излучением зависит от температуры окружающих поверхностей. Особенно чувствительны к излучению оголенные поверхности кожи человека.

В специальной литературе приводятся диаграммы комфортных условий человека, то есть сочетания параметров, при которых средний человек ощущает тепловой комфорт. Параметры микроклимата, при которых тепло отводится от тела человека естественным путем и не требуется напряжение системы терморегуляции организма, называются **оптимальными параметрами**. Параметры микроклимата, при которых система терморегуляции организма при небольшом напряжении способна успешно обеспечить отвод образующегося тепла от тела, и тем самым поддержать нормальную температуру тела, называются **допустимыми параметрами**. При других сочетаниях параметров человек чувствует сильный дискомфорт, так как система терморегуляции работает с большим напряжением. В некоторых ситуациях, например при высокой температуре и влажности, система терморегуляции не справляется со своей задачей и наступает перегрев организма.

### 11.2 Расчет поступления вредностей от людей

Расчет поступлений всех вредностей от людей (тепла, влаги и углекислого газа), как правило, выполняется одновременно, так как при этом используется одна и та же методика и нормативная литература. Расчет следует выполнять

для трех периодов: холодного, переходного и теплого, и вести его с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для каждого периода года.

$$Q_{я} = q_{я} N;$$

$$Q_n = q_n N;$$

$$M_w = m_w N;$$

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} N,$$

где  $N$  — количество людей в помещении;

$q_{я}, q_n$  — удельные выделения явного и полного тепла, Вт/чел;

$Q_{я}, Q_n$  — общие тепlopоступления явного и полного тепла от людей,

Вт;

$m_w$  — удельные выделения влаги одним человеком, г/(час чел);

$M_w$  — общее поступление влаги от людей, г/час;

$v_{CO_2}$  — удельные выделения  $CO_2$  одним человеком, л/(час чел);

$V_{CO_2}$  — общее поступление углекислого газа от людей, л/час.

Удельные поступлений вредностей от людей зависят от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха в помещении и принимаются по справочной литературе. Данные для людей, находящихся в состоянии покоя, приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 Удельные выделения вредностей от людей, находящихся в состоянии покоя (взрослые мужчины)

Показатели	Единица измерения	Удельные выделения вредностей одним человеком при температуре воздуха в помещении, °С					
		10	15	20	25	30	35
Явное тепло	Вт/чел	140	120	90	60	40	10
Полное тепло	Вт/чел	165	145	120	95	95	95
Влага	г/(час чел)	30	33	40	50	75	115
Углекислый газ	л/(час чел)	23					

Примечания:

1) Для детей до 12 лет выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,5.

2) Для женщин выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,75.

### **11.3 Расчет тепlopоступлений в помещения жилых и общественных зданий**

Расчет тепlopоступлений и тепловых потерь для расчетного помещения следует выполнять для трех периодов: холодного, переходного и теплого.

Тепловые потери в жилых и общественных зданиях происходят через наружные ограждения и на нагрев воздуха, инфильтрирующего через неплотности в оконных и дверных проемах. Расчет тепловых потерь следует вести с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для холодного периода.

Тепlopоступления от системы отопления  $Q_{co}$ , Вт, определяют путем пересчета тепловых потерь на расчетную температуру внутреннего воздуха для отопления. Расчетная температура внутреннего воздуха принимается по нормам.

**Тепlopоступления** в жилых и общественных зданиях складываются из следующих составляющих:

- а) тепло от людей;
- б) тепло от источников искусственного освещения;
- в) тепло от солнечной радиации через окна и покрытие;
- г) тепло от оборудования.

### **11.4 Расчет тепlopоступлений от людей**

От людей в помещения поступает явная теплота (за счет лучисто-конвективного теплообмена с воздухом и поверхностями помещения) и скрытая теплота (выделяемая с влагой выдыхаемого воздуха и за счет испарений с поверхности кожи). Полная теплота равна сумме явной и скрытой теплоты. Тепlopоступления от людей зависят от тяжести выполняемой работы; температуры и влажности окружающего воздуха, его подвижности, теплоизолирующими свойствами одежды;

особенностями терморегуляции самого человека. Теплопродукция человека и его способность к терморегуляции зависят от пола и возраста.

Таблица 11.3 Поступления теплоты и влаги от людей

<b>Количество теплоты и влаги, выделяемых взрослыми людьми (мужчинами)</b>						
Показатели	Количество теплоты, Вт, и влаги, г/ч, выделяемых людьми при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
Теплота:	<i>В состоянии покоя</i>					
явная	140	120	90	60	40	10
полная	165	145	120	95	95	95
Влага	30	30	40	50	75	115
Теплота:	<i>При легкой работе</i>					
явная	150	120	100	65	40	5
полная	80	160	150	145	145	145
Влага	40	55	75	115	150	200
Теплота:	<i>При работе средней тяжести</i>					
явная	165	135	105	70	40	5
полная	215	210	205	200	200	200
Влага	70	ПО	140	185	230	280
Теплота:	<i>При тяжелой работе</i>					
явная	200	165	130	95	50	10
полная	290	290	290	290	290	290
Влага	135	185	240	295	355	415

*Примечания:*

1) Для детей до 12 лет выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,5.

2) Для женщин выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,75.

Применительно к встроенным и встроенно-пристроенным в жилое здание помещениям трудовую деятельность находящихся в них людей можно отнести к следующим категориям:

- состояние покоя: зрители в клубах, ожидающие посетители различных учреждений и т.п.;

- легкая работа: сидячая работа в мастерских, персонала поликлиник, покупателей магазинов, посетителей кафе и т.п.;

- работа средней тяжести: стоячая работа персонала магазинов, кафе, столовых, мастерских и т.д.

Следует суммировать тепlopоступления от людей, занятых трудовой деятельностью различных категорий и находящихся в одном помещении.

$$Q_{\text{я}} = q_{\text{я}} \cdot n, \text{ где}$$

$q_{\text{я}}$  - явные тепловыделения одним человеком, Вт;

Удельные поступлений теплоты и влаги от людей зависят от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха в помещении и принимаются по справочной литературе. Данные приведены в таблице 11.3.

### 11.5 Тепlopоступления от источников искусственного освещения

Тепlopоступления от источников искусственного освещения  $Q_{\text{осв}}$ , Вт, могут быть определены по величине нормируемой освещенности помещения и площади пола

$$Q_{\text{осв}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}},$$

где  $E$  — нормативная освещенность, лк (для зрительных залов 200 лк при использовании люминесцентных светильников и 100 лк при использовании ламп накаливания);

$F$  — площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$q_{\text{осв}}$  — удельные тепловыделения от светильников, Вт/(лк м<sup>2</sup>) (от 0,05 до 0,15 для люминесцентных светильников и от 0,13 до 0,25 для ламп накаливания);

$\eta_{\text{осв}}$  — доля тепловой энергии, попадающей в помещение (если светильники установлены непосредственно в помещении, то  $\eta_{\text{осв}} = 1$ , а если вне помещения, то  $\eta_{\text{осв}} = 0,85$  для ламп накаливания и  $\eta_{\text{осв}} = 0,55$  для люминесцентных светильников).

Для кинотеатров тепlopоступления от искусственного освещения учитывать не следует, так как в них освещение используется только в перерывах между сеансами и уровень освещенности значительно ниже.



## 11.6 Теплопоступления от солнечной радиации через окна

Теплопоступления от солнечной радиации через окна определяются только для теплого периода в том случае, если в расчетном помещении имеются окна или прозрачные застекленные двери.

Тепловое излучение от солнца, которое зависит от широты местности, ориентации проема и расчетного часа суток, может поступать через окна в помещение непосредственно с прямыми солнечными лучами (прямая радиация) и за счет отражения от окружающих поверхностей (рассеянная радиация). Часть теплового потока поглощается пылью, находящейся в атмосфере, часть, отражается от поверхности стекол, часть поглощается конструкцией переплетов. Поэтому в помещение поступает уменьшенный тепловой поток, величина которого определяется загрязненностью атмосферы и конструкцией окон. Тепло, поступившее в итоге в помещение, не может быть все передано воздуху помещения, так как некоторая его доля будет поглощена внутренними ограждениями помещения – полом, потолком и внутренними стенами. Степень поглощения зависит от количества и площади внутренних ограждений, их материала и периода времени поступления солнечной радиации в помещение.

Таким образом, подробный расчет требует учета большого количества факторов. В инженерной методике расчета за стандартный вариант принято поступление тепла через одинарное остекление толщиной 3 мм, а учет дополнительных факторов осуществляется путем введения поправочных коэффициентов. Расчет теплопоступлений от солнечной радиации через вертикальные проемы  $Q_{cp}$ , Вт, выполняется для конкретного часа суток по формуле

$$Q_{cp} = \sum (q_{np} K_{Inp} + q_p K_{Ip}) F K_2 K_{отн} K_{сз} K_{ак}$$

где  $q_{np}$ ,  $q_p$  — прямая и рассеянная солнечная радиация через стандартный оконный проем данной ориентации в расчетный час суток, Вт/м<sup>2</sup>, определяются по таблицам в справочной, учебной и нормативной литературе;

$K_{Inp}$ ,  $K_{Ip}$  — поправочные коэффициенты, учитывающие загрязнение атмосферы и затенение проема переплетами для облучаемого солнцем проема и необлучаемого;

$K_2$  — поправочный коэффициент, учитывающий загрязнение стекла;

$K_{отн}$  — поправочный коэффициент относительного проникания солнечной радиации через проем, отличающийся от стандартного (учитывает толщину и количество стекол и наличие солнцезащитных устройств);

$K_{ак}$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние аккумуляции тепла внутренними ограждениями.

Значения всех входящих в формулу параметров выбираются из нормативной литературы для расчетного часа суток и заданной ориентации ограждений. За расчетный час следует принимать такой час в период работы предприятия, когда имеют место максимальные значения теплоступлений от солнечной радиации.

При нескольких окнах, имеющих различную ориентацию, следует просчитать теплоступления в течение каждого часа рабочего периода предприятия и выбрать за расчетный час тот, в который теплоступления максимальны. Учитывая большое количество однотипных вычислений, обычно расчет выполняют на компьютере по имеющимся программам.

### **11.7 Теплоступления от солнечной радиации через покрытие**

Теплоступления от солнечной радиации через покрытие допускается определять только для теплого периода по среднесуточным значениям.

Теплоступления через покрытие не учитывают, если в помещении имеется подшивной потолок с вентилируемым пространством. Эта ситуация наиболее характерна для крупных зрительных залов, имеющих подшивной потолок для улучшения внутреннего интерьера, организации вытяжки воздуха и прокладки приточных воздуховодов к потолочным плафонам. Если имеется подшивной потолок или воздушная прослойка, но воздушное пространство не вентилируется, то теплоступления учитывают с коэффициентом 0,6.

Тепло солнечной радиации, поступающее на покрытие, нагревает его и повышает температуру наружной поверхности. За счет теплоотдачи к наружному воздуху (обдувания ветром и излучения в атмосферу) часть тепла отбира-

ется от покрытия, несколько снижая температуру наружной поверхности. Оставшаяся доля теплового потока, поступившего на покрытие, посредством теплопроводности передается через толщу конструкции покрытия к внутренней поверхности — потолку помещения. прогрев внутренней поверхности происходит постепенно, с запаздыванием из-за инерционных свойств ограждения. От нагретой внутренней поверхности тепло передается в помещение в основном конвективным путем. Однако при тонких покрытиях с малым сопротивлением теплопередачи (например, из листового железа по деревянной обрешетке) излучение от потолка может играть существенную роль за счет высокой температуры внутренней поверхности. Часть излученного тепла попадает на внутренние ограждения, например, пол, и частично поглощается ими. Остальная часть передается воздуху помещения.

Расчет теплоступлений ведется по среднесуточным значениям теплового потока на покрытие по обычной формуле теплопередачи через покрытие

$$Q_{cp} = (t_{ny} - t_{\theta}) F_n / R_n ,$$

где  $t_{ny}$  — условная наружная температура воздуха над покрытием (примерно равна температуре наружной поверхности покрытия), °C;

$t_v$  — расчетная температура внутреннего воздуха в верхней зоне помещения под покрытием, °C;  $F_n$  — площадь покрытия, м<sup>2</sup>;  $R_n$  — сопротивление теплопередачи покрытия (берется по данным теплотехнического расчета), (м<sup>2</sup> °C)/Вт.

Условная наружная температура воздуха над покрытием определяется по формуле

$$t_{ny} = t_n + q_{cp} \rho_n / \alpha_n ,$$

где  $t_n$  — расчетная температура наружного воздуха (параметры А), °C;  $q_{cp}$  — среднесуточный тепловой поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность, зависит от широты местности, Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho_n$  — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью покрытия,  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи к воздуху на наружной поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup> °C).

## Тепловой баланс помещения. Определение мощности кондиционера

### 12.1 Тепловой баланс помещения

Тепловой баланс расчетного помещения составляется для определения избытков или недостатков тепла, которые должна компенсировать система кондиционирования воздуха.

В помещении, в котором поддерживается постоянный (стационарный, не меняющийся во времени) тепловой режим, должен наблюдаться тепловой баланс.

$$\sum Q = 0 \quad \text{или} \quad Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}} = 0 \quad \text{или} \quad Q_{\text{изб}} = 0.$$

Даже если бы в помещении не было систем обеспечения микроклимата, то есть систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, баланс тепла все равно бы соблюдался, просто баланс существовал бы при температурах внутреннего воздуха, неприемлемых для человека. Наличие системы кондиционирования воздуха позволяет обеспечить тепловой баланс при требуемой температуре внутреннего воздуха. Таким образом, если при расчетной температуре внутреннего воздуха баланс не наблюдается, то есть имеют место избытки или недостатки теплоты, СКВ должна скорректировать баланс, введя в помещение точно такое же количество теплоты, но с противоположным знаком.

Таким образом, для определения расчетной тепловой (холодильной или отопительной) способности системы следует произвести расчет избытков теплоты в помещении путем суммирования всех теплопоступлений и теплопотерь с учетом знака (теплопотери учитываются со знаком "минус"). Отметим, что термины **теплопоступлений** и **теплопотери** отражают лишь направление потоков теплоты: теплопоступления – это поток теплоты внутрь помещения, а теплопотери – поток теплоты из помещения.

Учитывая наличие знака "минус" перед значением тепловых потерь, результат суммирования теплопоступлений и теплопотерь может оказаться как

положительным, так и отрицательным. В первом случае говорят об **избытках** теплоты в помещении, а во втором случае – о **недостатках** теплоты.

Таблица теплового баланса составляется для трех периодов года.

Если в помещении выделяется влага, что обычно и бывает в жилых и общественных зданиях (влага поступает от людей), то избытки и недостатки теплоты в помещении подсчитываются отдельно.

Для жилых и общественных зданий характерно наличие водяной системы отопления с местными нагревательными приборами. Такая система является постоянно действующей и работает круглые сутки, в отличие от систем дежурного отопления промышленных зданий, которые могут отключаться в рабочее время (в первую очередь это касается систем воздушного отопления). Поэтому обычно при составлении таблицы теплового баланса общественных зданий предполагается, что система отопления будет работать, и тепловые поступления от нее включаются в одну из колонок графы "теплопоступления". Тепловой же баланс для промышленного здания обычно составляется без учета теплопоступлений от отопления.

Теплопотери через ограждения имеют место только в холодный и переходный период года, а поступления теплоты от солнечной радиации обычно учитывается только в теплый период года. Кроме того, если теплопоступления от солнечной радиации через остекление больше расчетных теплопоступлений от освещения, то при подсчете избытков теплоты учитываются только они, а если меньше – только теплопоступления от освещения.

Данная экспресс-методика в основном используется для разработки СКВ на базе несложного (в проектном отношении) климатического оборудования, такого, как: кондиционеры сплит-систем, а также кондиционеры оконного типа и моноблочного исполнения.

Для подбора необходимого по холодопроизводительности кондиционера надо рассчитать тепло, поступающее в помещение от солнечной радиации, освещения, людей, оргтехники и т. д.

Основные теплопритоки в помещение складываются из следующих составляющих:

## 12.2 Теплопритоки от солнечной радиации

Теплопритоки, возникающие за счет разности температур внутри помещения и наружного воздуха, а также солнечной радиации  $Q_1$ , рассчитываются по формуле:

$$Q_1 = V \cdot q_{уд}, \text{ Вт}$$

где  $V = S \cdot h$  — объем помещения;

$S$  — площадь помещения;

$h$  — высота помещения;

$q_{уд}$  — удельная тепловая нагрузка, принимается:

30–35 Вт/м<sup>3</sup> — если нет солнца в помещении,

35 Вт/м<sup>3</sup> — среднее значение;

35–40 Вт/м<sup>3</sup> — если большое остекление с солнечной стороны;

## 12.3 Теплопритоки от оборудования

Теплопритоки, возникающие за счет находящейся в нем оргтехники  $Q_2$ .

Теплопоступления от оборудования зависят в первую очередь от потребляемой мощности и частоты использования. Для различных видов офисного оборудования величина теплопоступлений будет следующая (с учетом частоты использования):

Таблица 12.1 Теплопоступления от различного оборудования

Вид оборудования	Теплопоступления, Вт	Коэф. одновременности использования
компьютер (системный блок + монитор)	300	0,8-1,0
лазерный принтер	400	0,3-0,6
копировальный аппарат	500	0,1-0,6
холодильник	150	0,4-0,6
электрочайник	300-600	0,1
Газовая плита	2500	Зависит от типа помещ.

В общем случае величина тепlopоступлений от электрооборудования определяется по формуле:

$$Q_2 = Q_{об} = N \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ Вт},$$

где  $N$  — потребляемая мощность, Вт;

$K_1$  — коэффициент перехода электроэнергии в тепловую (100–80%);

$K_2$  — коэффициент использования оборудования (30–80%).

#### **12.4 Теплопритоки от людей, находящихся в помещении**

Теплопритоки, возникающие от людей, находящихся в помещении  $Q_3$ .

$$Q_3 = q n, \text{ Вт},$$

где  $q$  — удельные тепlopоступления от одного человека, Вт

по таблице 11.3

$n$  — количество людей в помещении.

Суммарное количество тепlopоступлений, Вт

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ Вт}$$

К подсчитанным теплопритокам прибавляется 20% на неучтенные теплопритоки:

$$Q_{общ} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot 1,2 \text{ Вт}.$$

В случае использования в помещении дополнительного тепловыделяющего оборудования (электроплит, производственного оборудования и т. п.) соответствующая тепловая нагрузка должна быть также учтена в данном расчете.

#### **12.5 Расчет влаговыделений в помещении**

Источниками влаговыделений в основных помещениях гражданских зданий являются люди, в столовых и ресторанах — горячая пища, технологическое оборудование.

Влаговыделения от людей, кг/час

$$W = w \cdot n, \text{ где:}$$

$w$  — выделения влаги одним человеком, кг/час,

$n$  — количество людей в помещении.

Потребляемая кондиционером мощность примерно в 3 раза меньше мощности охлаждения, то есть бытовой кондиционер мощностью 2,5 кВт потребляет всего около 800 Вт.

Точный выбор мощности кондиционера очень важен. Недостаточная мощность может проявиться только в жаркую погоду. Избыточная мощность тоже ни к чему хорошему не приводит. Мощный кондиционер создает сильный поток холодного воздуха — создаются не совсем комфортные условия. Кондиционер будет чаще включаться и выключаться, что приведет к повышенному износу компрессора. Наконец, с экономической точки зрения, кондиционер будет дороже.

Лекция 13

### **Очистка воздуха в СКВ. Фильтры СКВ.**

Одна из главных задач кондиционера — очищать воздух в комнате. С этой задачей современные кондиционеры справляются прекрасно благодаря уникальным технологиям фильтрации и очистки.

Например, в современных кондиционерах реализован принцип двустороннего воздухообмена, позволяющий не только непрерывно очищать воздух в помещении, но и добавлять к нему свежий воздух, подвергая и его тщательной фильтрации. В оригинальной системе воздухообмена этих кондиционеров впервые применена встроенная система вентиляции, включающая в себя отдельный вентилятор для подачи воздуха с улицы и отбора воздуха из помещения. Воздух поступает в помещение после тщательной очистки в системе фильтров.

В кондиционере обычно установлены три фильтра. Один фильтр очищает воздух, поступающий с улицы, два других отвечают за чистоту воздуха в помещении. Большинство современных бытовых кондиционеров оборудуются только механическим фильтром, который, в основном, защищает от пыли теплообменник внутреннего блока. Замены такой фильтр не требует, но периодически его необходимо мыть или чистить.



Многоступенчатая система фильтров кондиционеров представляет собой непреодолимый барьер на пути пыли, запахов и микроорганизмов (рис.13.1).

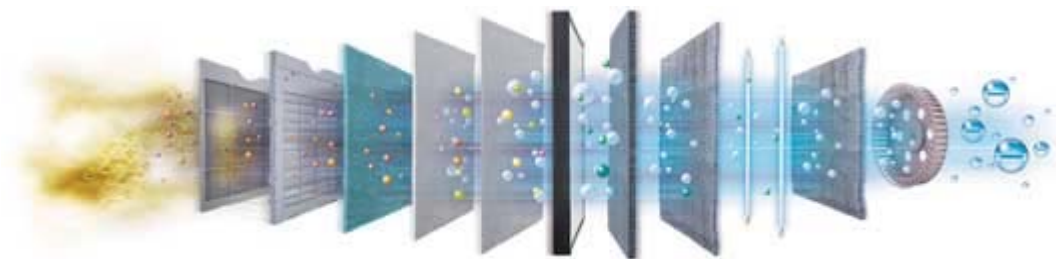


Рис.13.1 Многоступенчатая система фильтрации

В кондиционерах эта система включает в себя антиаллергический, дезодорирующий и электростатический фильтры (рис.13.2). Такие системы очистки не входят в стандартную комплектацию многих моделей кондиционеров и приобретаются отдельно.

Установка дополнительных фильтров приводит к увеличению стоимости кондиционера и к более сложной эксплуатации системы кондиционирования воздуха.



Рис.13.2 Система очистки воздуха в кондиционерах:

1 — ионизатор, 2 — вентилятор внутреннего блока, 3 — теплообменник Silver Nano, 4 — антиаллергический фильтр, 5 — дезодорирующий фильтр, 6 — электростатический фильтр.

Особым компонентом кондиционеров этой серии является ионизатор. Это устройство служит для генерации отрицательно заряженных частиц — анионов, благотворно влияющих на организм человека. Их наличие — один из факторов, обуславливающих освежающий и бодрящий эффект свежего природного воздуха. Попадая в кровь, анионы кислорода стимулируют метаболизм. Кроме того, анионы воздействуют на частицы пыли, содержащиеся в воздухе, как бы «прибивая» их к полу.

Другое «электрическое» устройство кондиционера — электростатический фильтр. Действует он так: на фильтр подается слабый электрический ток, благодаря чему на его поверхности создается электростатическое поле. В результате мельчайшие частицы пыли удерживаются фильтром и не попадают в воздух, которым мы дышим.

Электростатический фильтр кондиционеров серии покрыт ионами серебра и способен уничтожить порядка 99,99% частиц пыли, вирусов и бактерий. Ионы серебра уничтожают бактерии и препятствуют их размножению.

Поверхность теплообменника многих современных кондиционеров также покрыта ионами серебра, что препятствует появлению конденсата и подавляет размножение микроорганизмов внутри кондиционера.

Разработана уникальная система очистки воздуха, оснащенная 12 ступенями различных фильтров. Проходя через каждую ступень фильтра, воздух очищается от мелких частиц пыли и бытовых грибков, запахов пищи и табака. При этом разрушаются клеточные оболочки бактерий, благодаря чему система имеет высокую стерилизационную способность.

Антибактериальный фильтр системы удаляет крупные частицы пыли, грибки и волокна ткани. Следующий за ним тройной фильтр состоит из нескольких слоев с органическими компаундными наполнителями и удаляет из воздуха различные органические составляющие, которые раздражают глаза и горло. В составе пакета имеется фильтрующий элемент для удаления формальдегида. Третья составляющая фильтра позволяет удалять обычные запахи, ко-

торые, действуя коварно и незаметно, могут вызывать мигрень и хроническую усталость.

Угольный фильтр Nano-carbon (рис.13.3) задерживает мельчайшие частицы, составляющие запахи, облагораживая атмосферу помещения. Угольная структура фильтра состоит из частиц размером  $200\text{—}500 \times 10^{-9}$  м. Такой материал впервые использован в качестве материала для удаления запахов.

Системы кондиционирования воздуха могут содержать бактерии, рост которых происходит во время процесса обработки воздуха, его транспортировки и распределения. Эти бактерии чаще всего относят к виду легионелл. Они вызывают различные легочные заболевания. В ходе проектирования, монтажа и эксплуатации СКВ следует применять методы по предупреждению распространения бактерий.

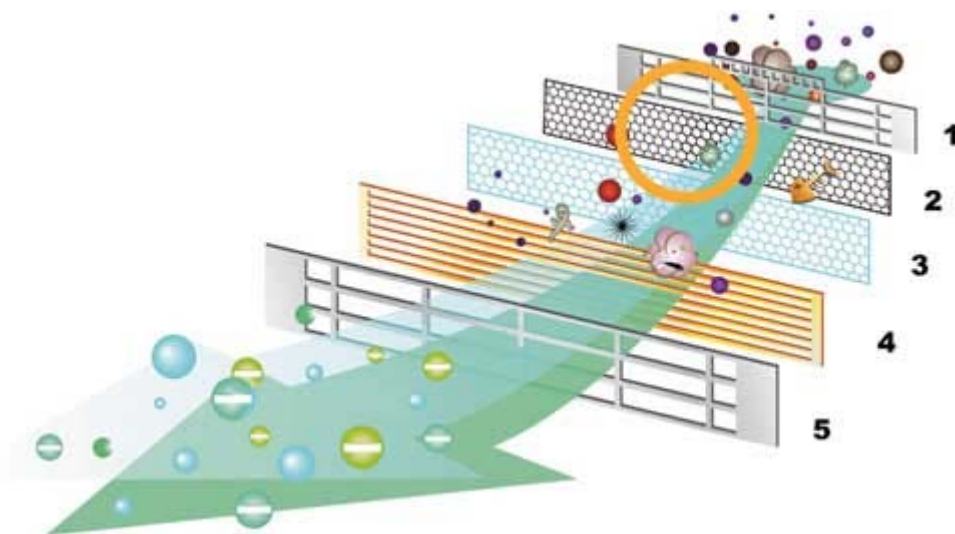


Рис.13.3 Фильтр Nano-carbon: 1 — решетка, 2 — структура из угольных наночастиц, 3 — фотокаталитическая сетка, 4 — ионизатор воздуха, 5 — крышка

Еще один барьер фильтра — биологический. С помощью микрочастиц фильтра, проникающих через клеточную оболочку бактерий и аллергенов, возможно полное разрушение ядра клеток. В то время как обычные методы только дезактивируют бактерии или разрушают их внешние клеточные оболочки, этот

инновационный метод стерилизации позволяет полностью уничтожить бактерии.

Система очистки воздуха Plasma, (рис.13.4), не только удаляет микроскопические загрязняющие частицы и пыль, но также удаляет бытовых клещей, пыльцу растений, ворсинки животных, предотвращая тем самым аллергические заболевания, в частности, астму.

Для эффективной работы фильтров их следует поддерживать в сухом состоянии, так как влага и конденсат образуют идеальную среду для распространения бактерий в помещениях. К помещениям повышенного риска относятся больницы, детские учреждения, гостиницы, офисы, спортивные сооружения и помещения общественного питания.

Замену фильтров следует проводить регулярно.

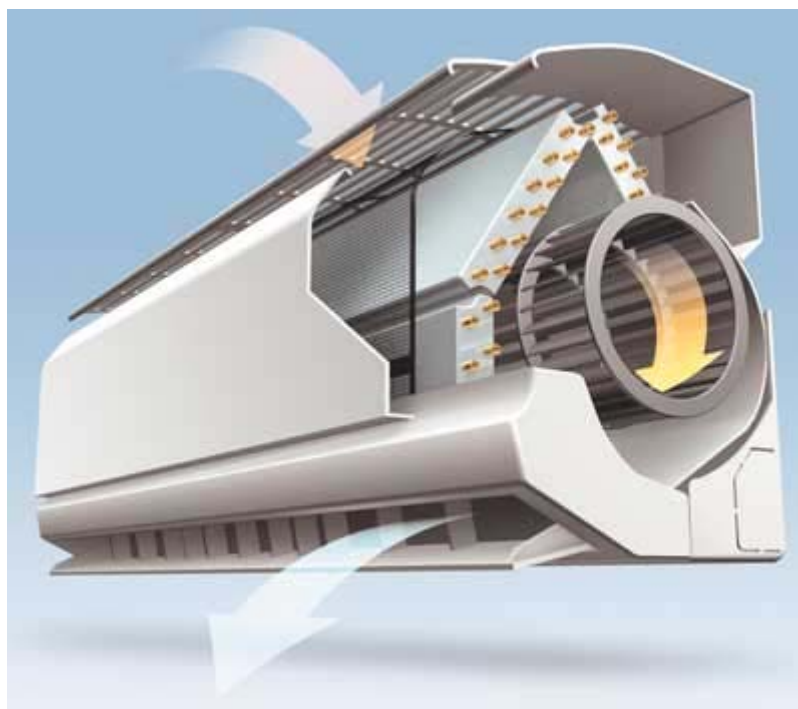


Рис.13.4 Внутренний блок кондиционера NEO-Plasma в разрезе.

Список технологий очистки воздуха в современных кондиционерах можно продолжить. Во многих моделях кондиционеров используются так называемые катехиновые фильтры, убийственно действующие на вирусы. Катехин — это природное антибактериальное вещество, которое содержится, например, в

листьях чая. Интересен механизм борьбы катехина с вирусами: у этих зловередных микробов есть торчащие в стороны шипы, которыми они цепляются за клетки. Катехин покрывает собой шипы и не дает вирусу уцепиться за жертву. Обработанные катехином фильтры удерживают до 98% вирусов.

В современных кондиционерах применяются био-энзимные фильтры, эффективно уничтожающие бактерии, вирусы и плесень. Энзимы— это биологически активные вещества, обладающие способностью «резать» длинные органические молекулы. Не случайно энзимы широко используются в стиральных порошках, успешно борясь с загрязнениями биологической природы. В кондиционерах энзимам также нашлась работа: здесь они «режут» поглощенные фильтром бактерии.

Другая современная технология, применяемая в современных кондиционерах— это фотокаталитические цеолитные фильтры. Волокна такого фильтра содержат мельчайшие частицы оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ). Это вещество под действием ультрафиолетового излучения становится сильнейшим окислителем и вступает в реакцию с попадающими на поверхность фильтра загрязнениями. В результате органические загрязнения разлагаются на углекислый газ, азот и воду. Периодическое промывание фильтра водой и воздействие прямого солнечного света полностью восстанавливают фильтр, который может эффективно служить в течение 3—5 лет.

Мозг человека, занятого длительное время интенсивной учебной или работой, нуждается в больших объемах кислорода. Недостаток кислорода вызывает чувство усталости, а по мнению ряда ученых, может даже стать причиной ракового перерождения клеток. Граница зоны безопасности по содержанию кислорода в воздухе составляет 18%. При уменьшении концентрации этого газа до 12—16% происходит учащение пульса, повышение частоты дыхания, нарушается внимание, появляются головные боли.

Проблема подачи свежего воздуха в помещение, обслуживаемое обычной бытовой сплит-системой настенного типа, решается разными способами. Современные технологии позволили не только очистить воздух от уличной пыли

и различных загрязнений, но даже увеличить содержание в воздухе кислорода. Это стало возможным благодаря применению мембранных технологий.

Принцип метода обогащения воздуха кислородом основан на различной скорости проникания газов через полимерную мембрану под действием перепада парциальных давлений в ней. Оказывается, эта скорость зависит от молекулярных свойств газа. Все газы можно условно разделить на два класса— легкопроникающие (к ним относится кислород) и труднопроникающие (например, азот). Основой генератора кислорода является полимерная мембрана, представляющая собой тонкую пленку из гомогенного слоя толщиной в несколько долей микрометра, обеспечивающего газоразделение, и технологических пористых подслоев толщиной до сотен микрометров.

Мембрана не имеет отверстий, поэтому частицы пыли, бактерии и прочие вредные компоненты не могут проникнуть в помещение.

Кислородообогащающие мембраны применяются в моделях бытовых кондиционеров ряда производителей. Так, генератор кислорода кондиционеров поддерживает концентрацию кислорода в помещении на уровне не ниже 21%.

Подача свежего наружного воздуха осуществляется также с помощью приточного клапана внутреннего блока кондиционера.

Лекция 14

## **Холодоснабжение СКВ.**

### **Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ**

Для **холодоснабжения** систем кондиционирования воздуха используются естественные и искусственные источники холода. К естественным источникам относятся артезианские воды, воды холодных рек и озер; лед; естественное испарение воды в устройствах испарительного охлаждения.

Лед для использования в системах кондиционирования намораживается толщиной 2,5— 3 м в зимний период и закрывается слоем теплоизоляции для сохранения на теплое время года. В системах кондиционирования воздуха при

помощи льда охлаждается вода, подаваемая в кондиционер для охлаждения воздуха. Охлаждение воды льдом осуществляется в специальных теплообменниках, через которые пропускается охлаждаемая вода.

Охлаждение воды в системах испарительного охлаждения (брызгальные бассейны, градирни, камеры орошения) происходит за счет отдачи скрытого тепла при ее испарении в воздухе. Охлажденная таким образом вода используется в системе кондиционирования.

В брызгальных бассейнах охлаждаемая вода разбрызгивается под давлением из труб через форсунки вверх в виде фонтана. При движении капель воды в воздухе происходит ее испарение и, следовательно, охлаждение. Охлажденная вода собирается в бассейне и подается для использования. Брызгальные бассейны эффективно работают при небольшом ветре, увеличивающем интенсивность испарения.

В градирнях вода в виде пленки и капель стекает сверху вниз по развитой поверхности и испаряется. Развитая поверхность внутри градирни образуется путем установки многочисленных решеток из дерева или другого материала, перекрывающих многими ярусами внутренний объем градирни. По внешнему виду градирня представляет собой параллелепипед, усеченный конус или усеченную многоугольную пирамиду, в верхнюю часть которой на решетчатое заполнение подается теплая вода. Охлажденная вода собирается в нижней части градирни. Для увеличения интенсивности испарения, а следовательно, и охлаждения, производят продувку воздуха через градирню вентилятором. В этом случае градирня называется вентиляторной.

Камеры орошения для охлаждения воды работают в режиме возможно большего испарения воды, что достигается подбором соответствующих расходов воздуха и воды, а также тонкости распыления воды форсунками.

Системы испарительного охлаждения эффективны в районах с сухим и жарким климатом. Однако охлаждения воды, достигаемого в рассматриваемых системах, обычно недостаточно для ее использования при кондиционировании для непосредственного охлаждения воздуха до нужных параметров. Поэтому

системы испарительного охлаждения обычно используются в сочетании с системами искусственного холодоснабжения для отвода теплоты от конденсаторов холодильных машин. Воду, подаваемую в кондиционер, охлаждает в этом случае холодильная машина.

В качестве искусственных источников холодоснабжения для систем кондиционирования воздуха используются компрессионные, абсорбционные и пароэжекторные холодильные установки.

Наиболее широкое распространение для холодоснабжения систем кондиционирования воздуха имеют компрессионные холодильные машины.

В качестве холодильных агентов используются жидкости, кипящие в испарителе при температуре, обеспечивающей охлаждение среды, от которой должна быть отведена теплота, до нужной температуры. К таким жидкостям относятся фреон, аммиак и другие. Наибольшее распространение для систем кондиционирования воздуха получили фреоновые холодильные машины. В случае применения аммиачных машин в силу ядовитости аммиака должно применяться двухконтурное охлаждение.

В систему холодоснабжения часто включают несколько холодильных установок, что обеспечивает возможность работы их на оптимальных режимах в зависимости от требуемой холодопроизводительности в различные периоды года. Это также обеспечивает лучшие условия эксплуатации.

Аккумулятор холода в системе холодоснабжения необходим для экономической работы холодильных машин. В этом случае холодильные машины могут работать периодически на наиболее оптимальных режимах, создавая запас холода в аккумуляторе на некоторый период работы кондиционеров. Управление работой систем холодоснабжения, как и кондиционеров, осуществляется системой автоматики. В большинстве случаев, однако, источником холода являются механические или химические процессы. Все механические холодильные машины представляют собой не что иное, как тепловые насосы.



## 14.1 Хладагенты СКВ

Хотя в конкретных холодильных устройствах могут использоваться самые разнообразные летучие жидкости, некоторые специфические требования сужают количество хладагентов до одной-двух жидкостей, пригодных для широкого практического использования. Эти жидкости должны быть неядовитыми, негорючими, иметь высокую теплоту испарения, малый удельный объем. Как правило, желательно использовать хладагенты, имеющие такую зависимость давления насыщенных паров от температуры, чтобы небольшое избыточное давление соответствовало области разрежения компрессора и не слишком высокое - зоне сжатия. Небольшое избыточное давление в зоне разрежения позволяет избежать проблем, которые возникают, если давление разрежения ниже атмосферного, а умеренное давление в зоне сжатия позволяет облегчить конструкцию и снизить ее стоимость.

Наиболее употребительными хладагентами являются воздух, вода, аммиак, углекислота, хлористый метил, сернистый ангидрид и различные фреоны.

Первый, признанный историками техники комнатный кондиционер, выпущенный в 1929 году компанией General Electric, работал на аммиаке. Это вещество небезопасно для человека, что в значительной мере сдерживало развитие холодильной техники.

Проблема была разрешена в 1931 году, когда был синтезирован безвредный для человеческого организма хладагент – фреон. Впоследствии было синтезировано более четырех десятков различных фреонов, отличающихся друг от друга по свойствам и химическому составу. Самыми дешевыми и эффективными оказались R-11, R-12, которые долгое время всех устраивали. В последние годы они попали в немилость из-за своих озоноразрушающих свойств. Используемые в кондиционерах и холодильниках фреоны были названы главными виновниками печально известных озоновых дыр (что весьма сомнительно). Так это на самом деле или нет, но 1987 году был принят Монреальский протокол, ограничивающий использование озоноразрушающих веществ. В частности, согласно этому документу, производители вынуждены отказаться от использова-

ния фреона R-22, на котором сегодня работает много кондиционеров. В большинстве европейских стран продажа кондиционеров на этом фреоне прекращена и новые модели выпускают только на озонобезопасных хладагентах – R-407C и R-410A.

В отличие от других хладагентов, R-407C и R-410A являются смесями различных фреонов, а потому менее удобны в эксплуатации. Так в состав R-407C, созданного в качестве альтернативы R-22, входят три фреона: R-32 (23%), R-125 (25%) и R-134a (52%). Каждый из них отвечает за обеспечение определенных свойств: первый способствует увеличению производительности, второй исключает возгорание, третий определяет рабочее давление в контуре хладагента.

Таблица 14.1 Сравнение хладагентов

Свойства хладагента	Хладагент		
	R-22	R-410A	R-407C
Изотропность (возможность дозаправки кондиционера при утечке)	да	да	нет
Масло	мине- ральное	поли- эфирное	поли- эфирное
Давление при температуре конденсации +43°C	16 атм.	26 атм.	18 атм.

Эта смесь не является изотропной, а потому при любых утечках хладагента его фракции улетучиваются неравномерно, и оптимальный состав меняется. Таким образом, при разгерметизации холодильного контура кондиционер нельзя просто дозаправить. Остатки хладагента необходимо слить и заменить новым. Именно это и стало основным препятствием для распространения R-407C. Эвакуированный из кондиционеров фреон необходимо утилизировать. И хотя для озонового слоя R-407C не опасен, он является одним из наиболее сильных «парниковых газов».

Хладагент марки R-410A, состоящий из R-32 (50%) и R-125 (50%) является условно изотропным. То есть при утечке смесь практически не меняет своего состава, а потому кондиционер может быть просто дозаправлен. Однако и R-410A имеет ряд недостатков. В отличие от R-22, который хорошо растворим в

обыкновенном минеральном масле, новые хладагенты предполагают использование синтетического полиэфирного масла. Полиэфирное масло обладает одним очень существенным недостатком – оно быстро поглощает влагу, теряя при этом свои свойства. Причем при хранении, транспортировке и заправке необходимо исключить не только попадание капельной влаги, но и контакт с влажным воздухом, из которого масло впитывает воду. К тому же оно не растворяет любые нефтепродукты и органические соединения, которые становятся потенциальными загрязняющими веществами.

Кроме того, само климатическое оборудование на R-410A при той же производительности получается существенно дороже. Причина в более высоком рабочем давлении. Так при температуре конденсации  $+43^{\circ}\text{C}$ , у R-22 оно составляет около 16 атм., а у R-410A – порядка 26 атм. По этой причине все узлы и детали холодильного контура кондиционера на R-410A, включая компрессор, должны быть более прочными. Это существенно увеличивает расход меди и делает всю систему более дорогой.

И, наконец, сами озонобезопасные хладагенты стоят в несколько раз дороже, в 6-7 раз. Следует учесть и тот факт, что с ростом рабочего давления количество утечек неизбежно увеличится, поскольку прочность паяных, а главное вальцованных соединений остается прежней.

## **14.2 Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ**

Вытяжка отработанного воздуха из помещений осуществляется обычно через систему воздуховодов или воздушных каналов. При помощи теплообменников (теплоутилизаторов) почти 90 % содержащегося в воздухе тепла можно использовать для нагрева приточного воздуха.

Утилизация тепла отработанного воздуха способствует повышению энергоэффективности здания, поскольку, в отличие от естественной вентиляции через открытые окна, тепло отработанного воздуха не уходит, а используется вновь для нагрева свежего приточного воздуха.

В летний период автоматический байпасный клапан блокирует процесс рекуперации. Это позволяет использовать прохладный ночной воздух для охлаждения помещений.

Такая система обеспечивает здоровый и комфортный микроклимат, кроме того, система предотвращает возникновение плесени и повышенную влажность воздуха в помещениях.

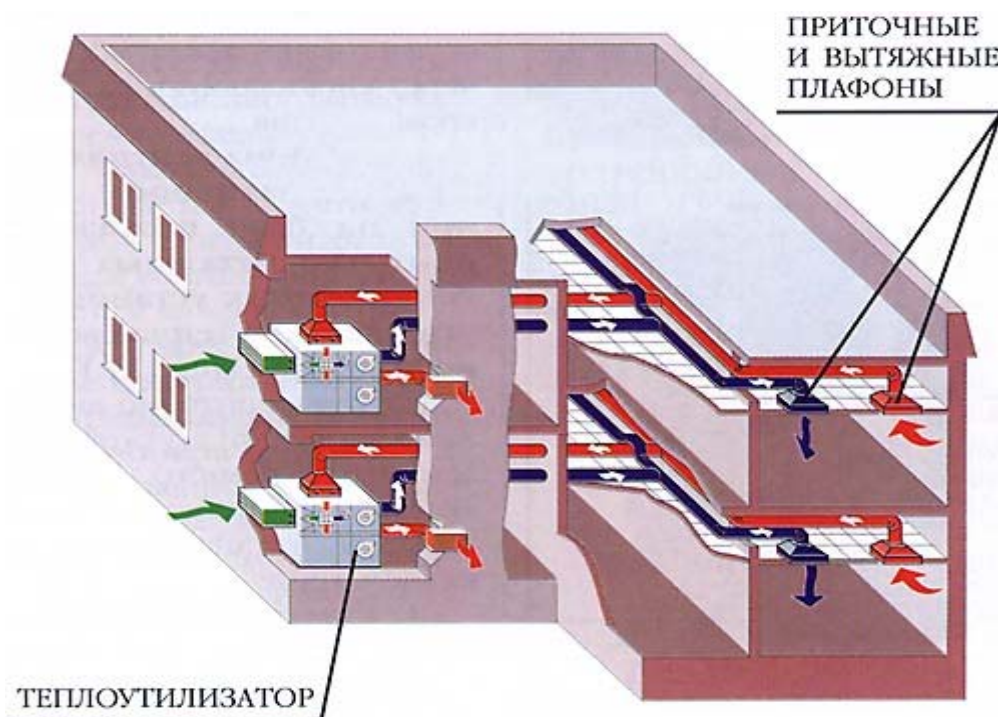


Рис. 14.1 Применение приточно-вытяжной установки СКВ.

В состав приточно-вытяжной установки входит воздухо-воздушный теплоутилизатор для нагрева приточного воздуха. Дополнительный нагрев происходит в калориферной установке. В приточно-вытяжных СКВ предусмотрена установка фильтров, воздухоохладителей, клапанов зонального регулирования и блоков автоматики. Теплоутилизаторы обеспечивают энергосбережение в СКВ.

Лекция 15

## Установка и эксплуатация оборудования СКВ

### 15.1 Порядок установки и монтажа

Установка и монтаж системы кондиционирования проводится в следую-

щей последовательности:

- установка внутренних блоков;
- установка наружных блоков;
- прокладка и пайка трубопровода фреоновой трассы;
- прокладка и подключение дренажного трубопровода;
- прокладка и подключение кабелей питания;
- прокладка и подключение кабелей управления;
- установка элементов управления, проводных пультов управления, подключение элементов централизованного управления;
- установка воздухопроводов для блоков канального типа;
- продувка трассы и проверка на герметичность;
- теплоизоляция трубопроводов;
- подключение трубопроводной системы к внутренним и наружным блокам;
- вакуумирование системы;
- дозаправка хладагента;
- открытие вентилей блоков;
- пуск, настройка и тестирование блоков.

Внутренние блоки системы кондиционирования устанавливают в зависимости от выбранной модели либо в потолочном пространстве (канальные), либо в подшивном потолке (кассетные), либо на стенах (настенные модели).

Требования к монтажу трубопроводной системы вытекают из необходимости обеспечить отсутствие влаги и грязи внутри труб, а также герметичность трубопроводной системы.

Соединительные трубы фреоновой магистрали должны быть бесшовные и изготовлены из меди. Диаметры соединительных труб выбирают в зависимости от производительности внутреннего блока либо индексов производительностей в случае разветвления магистрали. Рекомендуемый радиус изгиба труб при монтаже не менее 300 мм. Пайку труб системы производят в среде защитного газа – азота. Азот с минимальным расходом, обеспечивающим вытеснение воздуха, подают внутрь спаиваемых труб. Подача азота исключает образование окалины во внутренних полостях при пайке.

Для обеспечения гарантированного удаления из труб воздуха и влаги производят вакуумирование системы. После вакуумной сушки проводится дозаправка трубопроводной системы холодильным агентом.

Для обеспечения слива конденсата в системе кондиционирования организуется дренажный трубопровод. Для обеспечения слива конденсата дренажная труба должна устанавливаться с уклоном 1:100 в сторону слива. Для канального и кассетного типа блоков рекомендуется подключать общий трубопровод от каждого блока к общей дренажной трубе. Во внутренних блоках настенного типа организуется индивидуальный дренаж от каждого блока. Диаметр дренажных труб должен быть подобран в соответствии с производительностью внутреннего блока. Диаметр общей дренажной трубы должен быть не менее 35 мм. При необходимости к общей трубе подключается дренажная pompa с накопительной емкостью, рассчитанная на производительность блоков по конденсату. В среднем на 1 кВт по холоду приходится 0,5-0,8 л/ч производительности конденсата.

При подборе внутренних блоков необходимо учитывать длину трассы и перепад высот между наружными и внутренними блоками. Для расчета реальной производительности необходимо номинальную производительность умножить на коэффициент корректировки производительности в зависимости от длины трассы и коэффициент корректировки в зависимости от перепада высот между внутренним и наружным блоками.

При выборе высоты расположения решетки кондиционера и скорости струи воздуха нужно учитывать дальность распространения струи, потерю напора в решетке и уровень шума. Скорость выхода воздуха из решетки должна обеспечивать такое распределение воздуха, при котором струя холодного воздуха проходит выше рабочей зоны помещения.

После определения места расположения наружного блока производится трассировка трубопроводов. Определяется эквивалентная длина труб для системы (максимальная длина труб от наружного до внутреннего блока с учетом поворотов трассы).

## 15.2 Схема установки системы кондиционирования воздуха

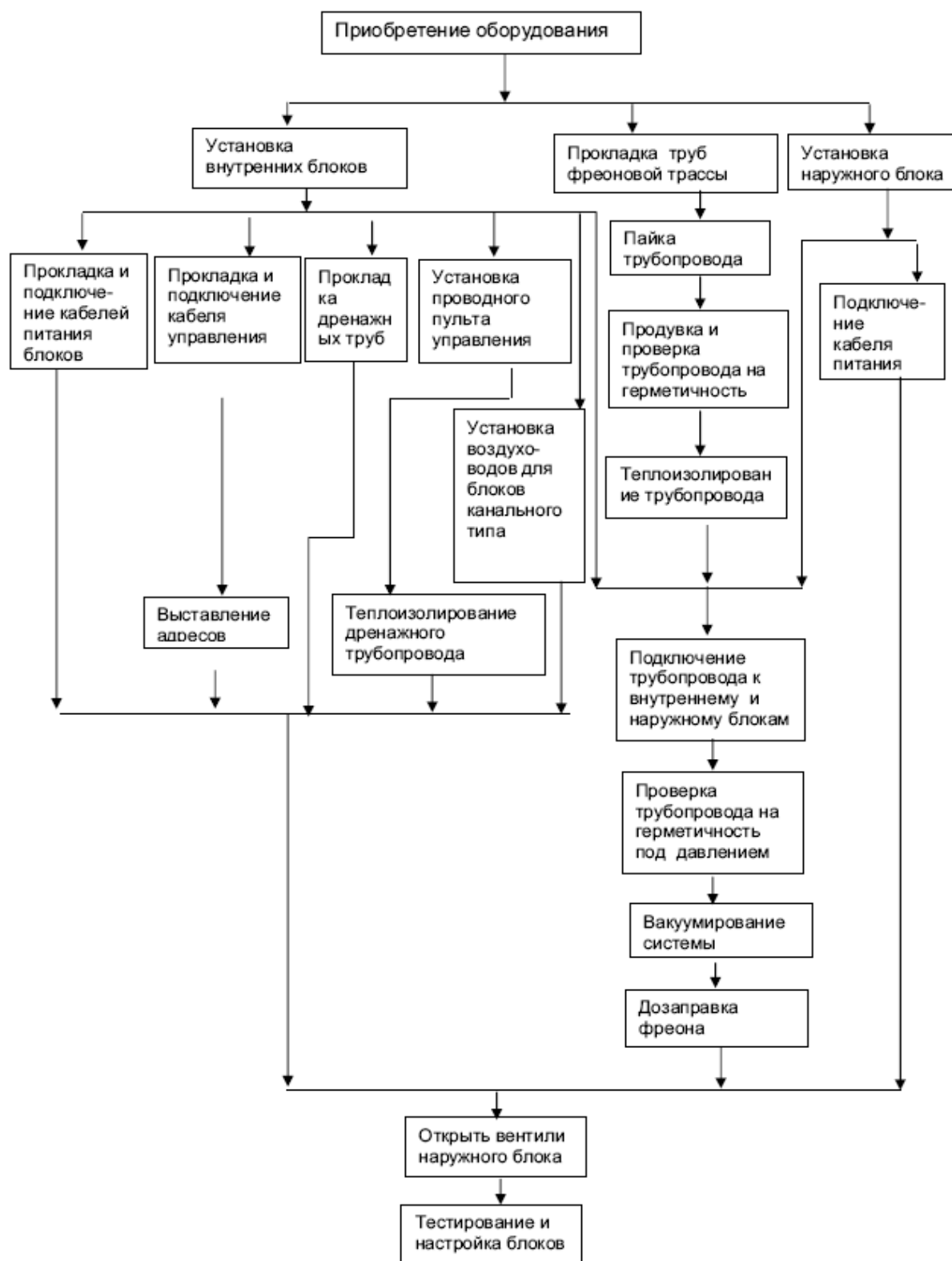


Рис.15.1 Схема установки СКВ

Прокладка кабеля электропитания разрабатывается в соответствии со схемами подключения блоков, схемами прокладки фреоновой трассы, дренажного трубопровода, расположения щита электропитания и элементов управления системой, требованиями безопасности правил эксплуатации электроустановок. Кабель питания подбирается в зависимости от потребляемой мощности блоков. Сечение общего кабеля питания внутренних блоков должно быть рассчитано на суммарный ток всех внутренних блоков, который не должен превышать максимально допустимый ток более чем в 1,5-2 раза.

### **15.3 Основные потребительские функции кондиционера**

Все бытовые сплит-системы имеют инфракрасный пульт дистанционного управления с жидкокристаллическим дисплеем и около десятка стандартных функций, причем по этому показателю «бюджетные» кондиционеры ничем не отличаются от «элитных». Причина такой унификации в том, что для реализации дополнительных функций не требуется изменять или усложнять конструкцию кондиционера, достаточно только перепрограммировать микроконтроллер, управляющий работой кондиционера и добавить кнопки на пульт ДУ.

Основные режимы работы кондиционера, используемые для кондиционирования и обогрева помещений:

**Вентиляция**, режим работы, при котором работает только вентилятор внутреннего блока, без включения компрессора. Используется для равномерного распределения воздуха по помещению и может использоваться, например, зимой, когда теплый воздух от обогревателей и батарей центрального отопления скапливается под потолком, а пол остается холодным.

**Автоматический режим.** В этом режиме кондиционер сам выбирает режим работы (Охлаждение, Обогрев или Вентиляция) для поддержания комфортной температуры.

**Осушение.** В режиме осушения кондиционер уменьшает влажность воздуха. Осушение воздуха всегда сопутствует его охлаждению. Теплый воздух соприкасается с холодным теплообменником (радиатором) внутреннего блока,



в результате на теплообменнике конденсируется влага, которая отводится через дренажный шланг. Поэтому в режиме осушения кондиционер работает так же, как и в режиме охлаждения, только температура воздуха в помещении понижается не более, чем на 1 °С. В тоже время увлажнять воздух не умеет ни один бытовой кондиционер, поскольку для этого в него пришлось бы встраивать дополнительное оборудование, а это привело бы к увеличению себестоимости.

**Очистка воздуха.** Для очистки воздуха перед теплообменником внутреннего блока устанавливают один или несколько фильтров. Основным фильтром кондиционера предназначен для очистки воздуха от крупной пыли (так называемый, фильтр грубой очистки). Этот фильтр представляет собой обычную мелкую сетку и защищает не столько обитателей кондиционируемого помещения, сколько внутренности кондиционера. Для очистки этого фильтра достаточно промыть его в холодной воде. Дополнительные фильтры (так называемые, фильтры тонкой очистки) предназначены для очистки воздуха от мелких пылевых частиц, дыма, пыльцы растений. Сплит-системы могут комплектоваться разными фильтрами тонкой очистки — угольными (устраняет неприятные запахи), электростатическим (задерживает мелкие частицы) и другими. Срок службы большинства таких фильтров — от 6 месяцев до 2 лет, после чего нужно покупать новые.

**Установка температуры.** Для режимов Охлаждение и Обогрев можно задать желаемую температуру с точностью до 1 °С в диапазоне от 16 — 18 до 30 °С. Обычно датчик температуры устанавливается во внутреннем блоке кондиционера, но некоторые модели имеют дополнительный датчик, встроенный в пульт дистанционного управления (ДУ). В этом случае пользователь сам выбирает, в какой точке будет производиться измерение температуры.

**Скорость вентилятора.** Вентилятор внутреннего блока может вращаться с разной скоростью, изменяя скорость. Количество проходящего через внутренний блок воздуха (этот параметр называется производительность по воздуху или «прокачка» кондиционера) измеряется в м<sup>3</sup>/ч. Обычно вентилятор имеет от 3 до 5 фиксированных скоростей плюс автоматический режим.

В автоматическом режиме скорость вентилятора выбирается исходя из текущей и заданной температуры. Чем больше текущая температура воздуха отличается от заданной, тем выше скорость вентилятора.

**Направление воздушного потока.** Направление воздушного потока, создаваемого внутренним блоком, может регулироваться по вертикали с помощью горизонтальных пластин (жалюзи), имеющих 5 — 7 фиксированных положений. В режиме охлаждения поток обычно направляют горизонтально вдоль потолка, чтобы холодный воздух не попадал на людей. В режиме же обогрева поток воздуха направляют вниз, поскольку горячий воздух легче холодного и поднимается вверх. Кроме этого, жалюзи могут автоматически качаться вверх — вниз, равномерно распределяя поток воздуха по помещению. В некоторых моделях кондиционеров мощностью свыше 5 кВт дополнительно есть автоматические вертикальные жалюзи, регулирующие поток воздуха в горизонтальном направлении.

**Таймер на включение и выключение.** С помощью 24-часового таймера можно установить время автоматического включения и выключения кондиционера, например, можно включать кондиционер за час до возвращения с работы.

**Ночной режим.** После включения этого режима кондиционер устанавливает минимальную скорость вентилятора (для уменьшения шума) и плавно повышает (в режиме охлаждения) или понижает (в режиме обогрева) температуру на 2 — 3 градуса в течение нескольких часов. Считается, что такие температурные условия оптимальны для сна. Через 7 часов после включения этого режима кондиционер выключается.

### **Уровень шума кондиционера**

Уровень шума измеряется в Децибелах (дБ) - относительной единице, показывающей во сколько раз один звук громче другого. За 0 дБ принят порог слышимости (заметьте, что звуки с уровнем менее 25 дБ фактически не слышны). Уровень шепота составляет 25 — 30 дБ, шум в офисном помещении, как и громкость обычного разговора, соответствует 35 — 45 дБ, а шум оживленной улицы или громкого разговора составляет 50 — 70 дБ.

Для большинства бытовых кондиционеров уровень шума внутреннего блока лежит в диапазоне 26 — 36 дБ, наружного блока составляет 38 — 54 дБ. Шум работающего внутреннего блока не превышает уровень шума офисного помещения.

При закрытых окнах, а иначе эксплуатировать кондиционер не допускается, шум наружного блока практически не слышен.

Расстояние между наружным и внутренним блоками кондиционера или межблочное расстояние имеет большое значение, как для стоимости установки кондиционера, так и для его срока службы. Это расстояние определяется длиной межблочных коммуникаций — медных труб и кабеля. В стандартную установку обычно включают 5-ти метровую трассу — в большинстве случаев этого вполне достаточно. Максимальная длина трассы для бытовых кондиционеров составляет 15 — 20 метров, однако использовать трассу такой длины не рекомендуется по ряду причин. Во-первых, существенно возрастает стоимость установки кондиционера. Во-вторых, при увеличении длины трассы падает мощность кондиционера и возрастает нагрузка на компрессор.

Если необходимо использовать трассу больше 15 — 20 метров, например, при размещении наружного блока на крыше здания, то придется использовать не бытовой кондиционер, а полупромышленную систему. Так, VRF-системы позволяют разносить блоки на 100 метров с 50-и метровым перепадом высот, но стоимость подобных систем значительно выше.

#### **15.4 Эксплуатация СКВ и защита кондиционера**

Если потребительские функции у всех кондиционеров одинаковы, то функции защиты от неправильной эксплуатации или неблагоприятных внешних условий, напротив, существенно отличаются. Полноценная система контроля за состоянием кондиционера увеличивает его стоимость на 20 — 30%. Даже в первой элитной группе многие кондиционеры имеют лишь частичную защиту от неправильной эксплуатации.

**Рестарт.** Эта функция позволяет кондиционеру включаться после перебоев с электропитанием. Причем кондиционер включится в тот же режим,

в котором работал перед сбоем. Эта простейшая функция реализуется на микропрограммном уровне и поэтому присутствует почти во всех кондиционерах.

**Контроль за фильтрами.** Если фильтры внутреннего блока кондиционера не чистить, то, за несколько месяцев на них нарастет такой слой пыли, что производительность кондиционера уменьшится в несколько раз. В результате нарушится нормальная работа холодильной системы и на вход компрессора вместо газообразного будет поступать жидкий фреон, что с большой вероятностью приведет к заклиниванию компрессора. Но даже если компрессор и не выйдет из строя, то со временем пыль налипнет на пластинах радиатора внутреннего блока, попадет в дренажную систему и внутренний блок придется везти в сервисный центр. То есть последствия эксплуатации кондиционера с грязными фильтрами могут быть самыми серьезными. Для защиты в кондиционер встраивают систему контроля за чистотой фильтров — если фильтры загрязнились, то загорается соответствующий индикатор.

**Контроль утечки фреона.** В любой сплит-системе количество фреона со временем уменьшается из-за нормируемой утечки. Для человека это не опасно, поскольку фреон — инертный газ, но кондиционер без дозаправки может прослужить только 2 — 3 года. Дело в том, что компрессор кондиционера охлаждается фреоном и при его недостатке может перегреться и выйти из строя. Сейчас большинство производителей переходит на электронные системы контроля, которые измеряют температуру в ключевых точках системы и/или ток компрессора и на основании этих данных вычисляются все рабочие параметры холодильной системы, в том числе и давление фреона.

**Защита по току.** По току компрессора можно определить целый ряд неисправностей холодильной системы. Пониженный ток говорит о том, что компрессор работает без нагрузки, то есть вытек фреон. Повышенный ток сигнализирует о том, что на вход компрессора поступает не газообразный, а жидкий фреон, что может быть вызвано либо слишком низкой температурой наружного

воздуха, либо грязными фильтрами внутреннего блока. Таким образом, датчик тока компрессора позволяет существенно повысить надежность кондиционера.

**Автоматическая разморозка.** При температуре наружного воздуха ниже  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  внешний блок кондиционера может покрыться слоем инея или льда, что приведет к ухудшению теплообмена, а иногда даже к поломке вентилятора из-за удара лопастей о лед. Что бы этого не происходило, система контроля следит за условиями работы кондиционера и если возникает риск обледенения, периодически включает систему авторазморозки (кондиционер работает 5 — 10 минут в режиме охлаждения без включения вентилятора внутреннего блока, при этом теплообменник наружного блока нагревается и оттаивает).

**Защита от низких температур.** Включать неадаптированный кондиционер при отрицательных температурах наружного воздуха категорически не рекомендуется. Для предотвращения поломки, некоторые модели кондиционеров автоматически отключаются, если температура на улице опустилась ниже определенной отметки (обычно минус 5 —  $10^{\circ}\text{C}$ ).

Отношение мощности охлаждения к потребляемой мощности является основным показателем энергоэффективности кондиционера, в технических каталогах это отношение обозначается как ERR. Другой коэффициент — COP равен отношению мощности обогрева к потребляемой мощности. Коэффициент ERR бытовых сплит-систем обычно находится в диапазоне от 2.5 до 3.5, а COP — от 2.8 до 4.0. У новых современных кондиционеров значения коэффициентов энергоэффективности еще выше. Можно заметить, что значение COP выше, чем ERR. Это связано с тем, что в процессе работы компрессор нагревается и передает фреону дополнительно тепло. Именно поэтому кондиционеры всегда выделяют больше тепла, чем холода.

Для обозначения энергоэффективности бытовой техники существует семь категорий, обозначаемых буквами от A (лучшей) до G (худшей). Кондиционеры категории A имеют  $\text{COP} > 3.6$  и  $\text{ERR} > 3.2$ , а категории G —  $\text{COP} < 2.4$  и  $\text{ERR} < 2.2$ . Следует заметить, что потребляемая мощность и мощность охлаждения обычно измеряются в соответствии со стандартом ISO 5151 (температура внут-

ри помещения 27°C, снаружи 35°C). При изменении этих условий мощность и КПД кондиционера будут меньше.

Ограждающие конструкции, солнцезащитные устройства и другие конструктивно-планировочные средства можно отнести к пассивным методам кондиционирования микроклимата. Они позволяют снизить теплопоступления или потери тепла, обеспечить тепло- и влагоустойчивость помещений. От них зависит установочная мощность (а также годовое энергопотребление) систем отопления-охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха, которые относятся к активным средствам кондиционирования микроклимата. В свою очередь отопление-и вентиляция являются системами ограниченного действия, а кондиционирование воздуха — универсальной системой в части поддержания заданных значений температуры и влажности воздуха в помещении.

Кондиционирование воздуха обеспечивает круглогодичное поддержание регулируемых значений температуры и влажности воздуха в обслуживаемых помещениях. Таким образом, остальные активные средства кондиционирования микроклимата являются частными случаями кондиционирования воздуха.

Применение СКВ может быть вызвано необходимостью поддержания заданного микроклимата в помещениях, обеспечения комфортных условий для людей, оптимизации технологических процессов, повышения производительности труда, качества продукции, продуктивности животных, сокращения потерь сырья и продукции.

Для решения вопроса о возможности применения кондиционирования воздуха необходимо иметь технико-экономическое обоснование, поскольку это связано с большими затратами — высокая стоимость оборудования для кондиционирования воздуха, систем холодоснабжения, автоматического регулирования и управления; дополнительное энергопотребление.

## **Список источников**

### **Основная литература**

- 1 Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006 – 640 с.
- 2 Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. - М.: Стройиздат, 1985. - 336 с.
- 3 Ивашкевич А.А. Вентиляция общественных зданий. – Хабаровск: ХГТУ, 2001 – 65 с.
- 4 СНиП 2.04.05-91\*У Отопление, вентиляция и кондиционирование. Киев. : КиевЗНИИЭП, 1996 - 89 с.
- 5 Тихомиров Н.В., Сергиенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. - М.: Стройиздат, 1991. - 479 с.

### **Дополнительная литература**

- 1 Ананьев В.А., Балужева Л.Н. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. – М.: Евроклимат, 2001 – 416 с.
- 2 Харланов С.А., Степанов В.А. Монтаж систем вентиляции и кондиционирования воздуха. - М.: Высш. шк., 1986. - -224 с.

### **Интернет-ресурсы**

- 1 [www.abok.ru](http://www.abok.ru)
- 2 [www.hvacpro.ru/](http://www.hvacpro.ru/)
- 3 [www.aircon.ru](http://www.aircon.ru)
- 4 [www.mir-klimata.com](http://www.mir-klimata.com)

Навчальне видання

ЄВСЄЄВА Тетяна Олексіївна

ЛАСТОВЕЦЬ Наталя Володимирівна

Конспект лекцій з курсу «**Кондиціювання повітря**»  
(для студентів 4 і 5 курсів усіх форм навчання і слухачів другої  
вищої освіти напряму підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво»  
спеціальності 7.092108 (7.06010107) «Теплогазопостачання та  
вентиляція») Експериментальна версія для технології навчання).  
(рос. мовою)

В авторській редакції

Комп'ютерне верстання *Т.О. Євсєєва*

Відповідальний за випуск *І. І. Капцов*

План 2009, поз. 58 Л

---

Підп. до друку 02.11.10

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60х84 1/16

Ум. друк. арк. 4,5

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001